

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN

Ingegneria Agraria

Ciclo XXIV

Settore Concorsuale di afferenza: 07/C1

Settore Scientifico disciplinare: AGR/09

ANALISI STATISTICA DI PARAMETRI DI UTILIZZO DI TRATTRICI AGRICOLE

Presentata da: Daniela Perozzi

Coordiatore Dottorato

Prof. Giovanni Dinelli

Relatore

Prof. Ing. Giovanni Molari

Correlatore

Ing. Michele Mattetti

Esame finale anno 2016

*“In statistica è necessario che
uno stimatore sia corretto asintoticamente....*

*...semplicisticamente parlando,
ci si accontenta che all'aumentare della dimensione
del campione il suo valore atteso tenda al parametro in popolazione*

*Nella vita invece è necessario che l'uomo sia corretto sempre....
affinché possa rappresentare degnamente la popolazione!!!”*

INDICE

1 INTRODUZIONE	1
2 RICHIAMI DI STATISTICA	10
2.1 IL CAMPIONAMENTO.....	12
2.2 LA STIMA PARAMETRICA	19
2.3 L'ANOVA	23
3 MATERIALI & METODI	28
3.1 POPOLAZIONE ED I CAMPIONI DI TRATTRICI ANALIZZATE.....	29
3.1.1 Il trattore esaminato e il suo mercato di vendita.....	29
3.1.2 Il CAN-Bus e la creazione del data set	31
3.1.3 Le trattrici campionate e il piano sperimentale	33
3.2 LE ANALISI DEL PIANO SPERIMENTALE	34
3.2.1 Analisi preliminare	34
3.2.2 Analisi esplorativa	41
3.2.3 Analisi aggiuntiva	47
4 RISULTATI	49
5 CONCLUSIONI	68
ELENCO DELLE TABELLE	73
ELENCO DELLE FIGURE	75
BIBLIOGRAFIA	78

1. INTRODUZIONE

La trattrice è la macchina agricola più diffusa in agricoltura poiché ad essa possono essere collegati numerosi attrezzi per la lavorazione del terreno, per la semina, per la gestione delle colture e del raccolto. Negli anni è tuttavia emersa la necessità di aumentare le prestazioni delle trattrici a causa di numerosi fattori che influenzano le lavorazioni. Il primo fattore è riconducibile alla trasformazione delle piccole aziende familiari in imprese agricole medio-grandi (Eurostat, 2010) comportando la necessità da parte degli agricoltori di macchine sempre più specializzate. Terreni più estesi da arare, maggiori strade da percorrere e quindi differenti condizioni di trasporto hanno di fatto cambiato le abitudini lavorative delle imprese agricole (Clay, Hemingway, 2011). Altro fattore non meno importante, è l'integrazione a livello mondiale dei mercati; tale fenomeno ha spinto gli agricoltori a ridurre i costi di produzione al fine di mantenere i prezzi dei beni prodotti competitivi. La necessità degli agricoltori di far convergere le esigenze di mercato con l'evoluzione tecnica dei macchinari agricoli e delle trattrici, ha spinto i progettisti alla realizzazione di macchine sempre più ricche di contenuti tecnologici per fidelizzare i clienti al proprio marchio

(Garcia, Araan, & Ruiz, 2010). Tale convergenza è stato il motore per il superamento della pratica di progettazione di macchine con coefficienti di sicurezza molto elevati atti a scongiurare le rotture indotte da utilizzi particolarmente gravosi. Questa procedura infatti causa il sovradimensionamento della macchine e dei relativi costi, non più sostenibili in un mercato competitivo come quello odierno (Harral, 1990). A tal proposito, alcune case costruttrici hanno limitato tali oneri progettando macchine in funzione di come vengono realmente utilizzate dai clienti. Risalire alle reali misure di utilizzo di alcune componenti durante il tempo vita di una trattrice permette di progettare e testare macchine più affidabili e stimare intervalli di manutenzione meno approssimativi, riducendo la probabilità di rotture. Uno dei componenti più costosi in una trattrice e al tempo stesso quello a cui i costruttori dedicano molti sforzi per introdurre nuovi contenuti tecnologici, è la trasmissione (Renius, 1994). La trasmissione è soggetta ad elevata usura ed in particolar modo la cinghia di trasmissione, i rulli, le frizioni, i cuscinetti ecc. (Della Pietra, 2011). Inoltre, maggiori sono i carichi trasmessi, rispetto ai valori di progettazione, maggiore è il danneggiamento e quindi l'usura. Il danneggiamento è la valutazione numerica della vita residua di una trasmissione che è proporzionale alla coppia ed al regime motore (Vogwell, 1998); per progettare una trasmissione è quindi necessario utilizzare una coppia ed un regime motore nominali. Entrambi devono essere il più possibile simili al

reale utilizzo al fine di progettare trasmissioni che non siano sovradimensionate pertanto, è necessaria una metodologia di progettazione che richieda un'accurata conoscenza delle condizioni di lavoro che influenzano sia la coppia che il regime del motore; tale metodologia è denominata "correlazione cliente". Studi di questa metodologia di progettazione, applicata agli autoveicoli, hanno evidenziato che parametri di lavoro che influenzano il danneggiamento della trasmissione (Gosavi & Chavan, 2009) :

- i tipi di strada e la loro distribuzione percentuale;
- la velocità media sui diversi tipi di strade;
- le informazioni geografiche, come ad esempio terreno, pendenza della strada etc;
- l'utilizzo medio giornaliero o mensile in km o ore;
- la previsione di vita del mezzo.

Tali parametri di lavoro sono stati classificati in tre macro categorie: i tipi di strada, i comportamenti di guida degli operatori e i rapporti di trasmissioni correlate alle prestazioni del motore (Naunheimer & Lechner, 1999) Questi possono tuttavia variare da cliente a cliente, richiedendo quindi necessaria un'accurata analisi statistica.

La statistica è una disciplina che studia metodi di raccolta e analisi di dati qualitativi e quantitativi e permette di modellare e stimare dei parametri ingegneristici (DeCoursey,2003; Keeping,1962; McColl,2004). Nello studio di fenomeni aleatori, prima di definire un modello o dei parametri, è consuetudine compiere analisi, di solito iterative, al fine di individuare i fattori principali, gli intervalli e le relazioni di quei fattori che influenzano il fenomeno oggetto di studio. (Douglas & Montgomery, 1997). Nel campo automobilistico, è comune pianificare sperimentazioni e analisi basate su metodi di statistica inferenziale, come campagne di raccolta dati da un campione probabilistico stratificato (Johannesson & Speckert, 2013). Questo tipo di campionamento, è un metodo che prevede la divisione della popolazione in strati, pertanto le unità statistiche (u.s.) di ciascun strato devono essere il più omogenee possibile. Il campione di u.s. degli studi in campo automobilistico sono i clienti di una specifica macchina, ai quali, è comune somministrare un questionario atto alla identificazione del profilo di missione delle macchine.

Il metodo di raccolta di tali informazioni da questionari consente di descrivere le condizioni di utilizzo della macchina durante la vita di servizio e quindi ricavare informazioni qualitative e quantitative (Thomas, Perroud, Bignonnet, & Monnet, 1999), che permettono di pianificare specifiche campagne di misure utili alla ridefinizione di criteri per la validazione finale di nuove macchine (Ensor & Cook, 2007; Strutt & Hall, 2003). L'analisi dei

dati raccolti nelle specifiche campagne di misura, permette agli analisti di modellizzare i dati e quindi determinare parametri ingegneristici utili alla progettazione. Le analisi delle misure raccolte dalle campagne di misure hanno permesso di sviluppare e potenziare test accelerati per trasmissioni di autoveicoli, di sospensioni di autocarri, (Ledesma, Jenaway, Wang, & Shih, 2005), metodi di estrapolazioni di le matrici di rainflow e quindi il danneggiamento accumulato dalla struttura (Dressler, Hack, & Krüger, 1997). Anche in campo agricolo tale procedura ha permesso di progettare test accelerati per le trattrici (Mattetti, Molari, & Sedoni, 2012), per le macchine per la fienagione (Paraforos, Griepentrog, Vougioukas, & Kortenbrucka, 2014) e sviluppare specifici banchi prove per riprodurre in modo ottimale la dinamica di una trattrice in lavorazione. Tuttavia tale procedura ha evidenziato dei limiti. Non poter misurare con precisione la variabilità dello stile di guida di un campione di clienti, come ad esempio l'accelerazione o le frenate, fa sì che i dati ottenuti dalle specifiche campagne di raccolta di misure non possano essere considerate un vero e proprio record di utilizzi dei clienti. In uno studio svolto negli Stati Uniti nel 2009 sono stati analizzati gli utilizzi dei veicoli di un campione di clienti; in tale studio è stato possibile identificare il tempo medio di guida, le caratteristiche di guida e le varie destinazioni dei clienti del veicolo preso in esame. Tali misurazioni hanno permesso di ricavare parametri che in

progettazione hanno potenziato le simulazioni dell'utilizzo della macchina (Krumm, 2012).

Monitorare i reali utilizzi di una trattrice da parte dei clienti, permetterebbe quanto meno di identificare fattori di variabilità dello stile di guida degli stessi clienti, la variabilità dei tempi di inattività (Surcel & Jokai, 2011; Lutsey, Brodrick, & Lipman, 2007) e quindi superare ad esempio i limiti riscontrati nei test per le trattrici per il calcolo del danneggiamento (Mattetti, Molari, & Sedoni, 2012).

La necessità di monitorare i comportamenti di guida degli operatori e i rapporti di trasmissioni correlate alle prestazioni del motore, hanno spinto i progettisti alla ricerca e realizzazione di dispositivi capaci di monitorare la variabilità di utilizzo in tempo reale. Tali dispositivi, comunemente chiamati sistemi on board data logger (DL), sono sistemi interconnessi ai numerosi sensori installati nelle trattrici moderne. In queste trattrici, sono presenti sensori embedded tra loro interconnessi per il controllo dei diversi sottosistemi, al fine di ottimizzare il funzionamento della macchina. I DL consentono di monitorare le condizioni operative dei diversi sottosistemi della macchina durante i reali utilizzi (Ludes & Steeples, 1999). A titolo esemplificativo, in uno studio in campo automobilistico, sono stati memorizzati dati tramite sistemi DL che hanno permesso di valutare classi di carico su strada; tali classi sono state poi correlate all'effetto dei fattori

mercato e stili di guida del conducente mediante l'analisi della varianza (Karlsson,2007).

In campo automobilistico sono stati inoltre calcolati parametri progettuali mediante il monitoraggio e acquisizione di dati dal Controller Area Network (CAN-Bus) (Mueller, Daily, Papa, 2012), attualmente il sistema di connessioni più usato nel mercato automobilistico. Introdotto nel 1986 dalla BMW, il CAN-Bus è un protocollo di comunicazione seriale utilizzato nei veicoli per il collegamento delle diverse centraline installate. In tale protocollo le informazioni viaggiano attraverso un canale seriale, nell'ordine in cui sono state emesse e lette secondo specifiche regole definite dalla normativa ISO 11898-1 (ISO, 2003). Tale sistema è attualmente installato in tutte le tipologie di macchine. La procedura di memorizzazione dei segnali che viaggiano lungo la linea CAN-Bus richiede dispositivi di memoria di dimensioni rilevanti; infatti registrare il comportamento di ogni singolo dispositivo interno risulta oneroso. Grazie alle recenti tecnologie informatiche, come ad esempio i sistemi di telemetria, è anche possibile inviare i dati del sistema di sensori embedded ai server dei progettisti, i quali interpretano e mettono a punto prestazioni ottimali delle macchine in tempo reale (Ensor & Cook,2007).

Per mezzo di questi sistemi di monitoraggio, sono state pianificate campagne di acquisizione dati da CAN-Bus su veicoli guidati da un campione di clienti, allo scopo di stimare la distribuzione dei carichi sulla

trasmissione. Tale procedura di acquisizione dati in tempo reale ha permesso di monitorare le marce utilizzate, correlate alle prestazioni del motore (Pan, Yang & Li, 2013).

Nel settore delle macchine agricole il monitoraggio e acquisizione dati da CAN-Bus è stato limitato solo alla determinazione di parametri operativi del motore come ad esempio la temperatura, la densità e il consumo del carburante, al fine di determinare equazioni che predicono i consumi di carburante (Cupera e Sedlak, 2011).

L'obiettivo di questa tesi è quindi quello di pianificare un piano sperimentale atto all'acquisizione di dati da trattrici con CAN-Bus utilizzate da clienti in tempo reale, con lo scopo di monitorare l'utilizzo delle trasmissioni e calcolare parametri ingegneristici del loro utilizzo. Nel dettaglio in questo lavoro si vuole capire se il diverso utilizzo delle trasmissioni delle trattrici analizzate sia funzione dell'area geografica di vendita o della coppia massima motore. Inoltre si vuole stimare parametri di utilizzo dei rapporti di trasmissione al fine di integrare le limitazioni riscontrate dalle analisi di correlazione cliente sulle trattrici.

2. RICHIAMI DI STATISTICA

Questa sezione è dedicata all'introduzione dei metodi statistici impiegati per le analisi adottate nel presente lavoro.

La statistica è una disciplina che ha lo scopo di quantificare i fenomeni in condizioni di incertezza. Tale disciplina ha un duplice approccio in funzione dei dati e del fenomeno da analizzare: la statistica descrittiva e la statistica inferenziale. La prima è comunemente usata quando è nota la struttura del fenomeno di studio e quindi si cerca di valutare quando verosimilmente può accadere un evento, pertanto vengono sintetizzati i dati attraverso grafici e indici che riassumono una grande mole di dati (DeCoursey,2003). La statistica inferenziale invece, si differenzia dalla prima in quanto utilizzata per fare delle affermazioni più generali riguardanti i parametri della popolazione da cui il campione è stato estratto (Keeping,1962). Con le tecniche di inferenza è possibile determinare dei modelli probabilistici che spiegano il comportamento di un certo fenomeno. Vengono stimati i parametri di valor medio atteso e i rispettivi intervalli di variabilità ed è stato dimostrato che più la numerosità del campione è vicina alle dimensioni della popolazione di riferimento, più il fenomeno identificato corrisponde a

quello che nella realtà avviene nella popolazione (McColl, 2004). A tal proposito sono stati dedicati un paragrafo per richiamare metodi di campionamento, uno per la stima parametrica ed un altro paragrafo per richiamare conoscenze note della metodologia dell'ANOVA.

2.1 IL CAMPIONAMENTO

La teoria del campionamento è una disciplina della statistica inferenziale che ha lo scopo di desumere da un campione, informazioni sulla popolazione. Da una popolazione, la cui numerosità è indicata con N , è possibile calcolare un insieme virtuale di campioni di uguale numerosità (n) estraibili compatibilmente con una procedura di campionamento scelta; tale insieme è comunemente chiamato “universo dei campioni”.

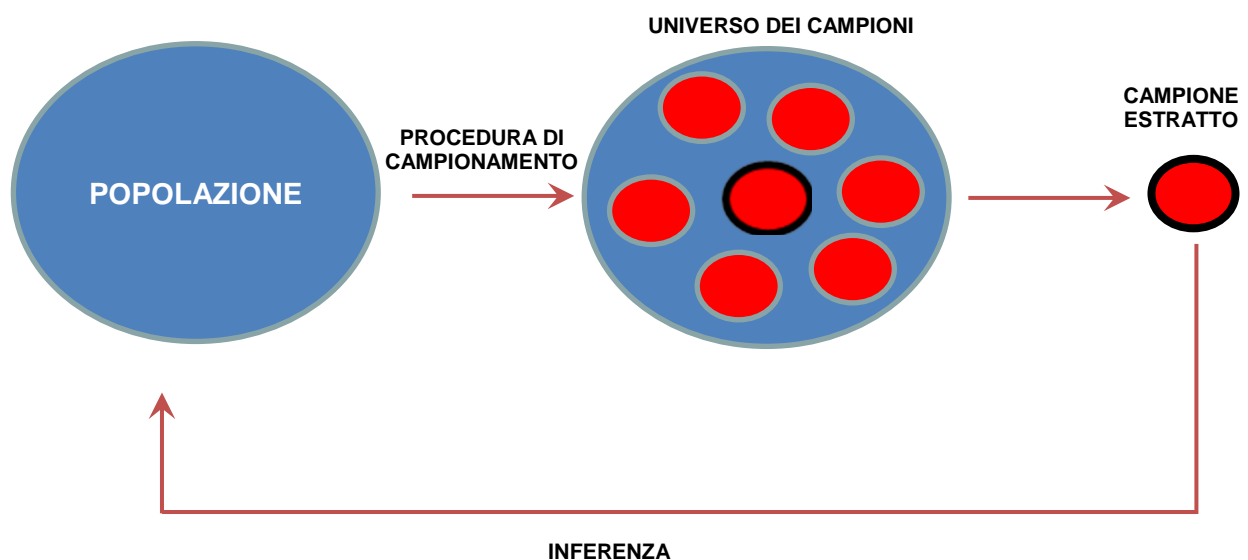


Fig. 1: Rappresentazione concettuale del campionamento statistico

Affinché un campione sia rappresentativo della popolazione, occorre che le liste-elenco usate per l'estrazione siano aggiornate, che la dimensione del campione sia sufficiente e appropriata per le analisi previste. Queste condizioni possono essere garantite da un opportuna tecnica di

campionamento che può influenzare la casualità del fenomeno oggetto di studio; a tal proposito, esistono due tipi di campionamento: quello probabilistico e quello non probabilistico.

Il campionamento non probabilistico non richiede la presenza di un elenco dei componenti della popolazione, agevolando in termini di costi e tempestività dell'estrazione delle u.s. campionarie. Contro queste prerogative resta tuttavia il fatto che non vengono seguite regole di selezione pertanto il rischio di distorsione della rappresentatività della popolazione è molto alto.

In un campionamento probabilistico invece, le u.s. del campione, per essere estratte, richiedono la lista-elenco della popolazione in quanto legate alla probabilità di estrazione e al meccanismo di estrazione.

Le tecniche di selezione più note sono:

- l'estrazione casuale con re-immissione delle u.s. nella popolazione dopo la loro selezione;
- l'estrazione casuale senza re-immissione in cui le u.s. sono estratte in blocco e quindi ogni u.s. non potrà ripresentarsi più volte nello stesso campione;
- l'estrazione casuale sistematica dove solo la prima u.s. è estratta casualmente dalla popolazione mentre le successive sono selezionate in base ad una sequenza di selezione

Per mezzo delle probabilità di estrazione è possibile determinare uno specifico errore di campionamento (ϵ). L'errore di campionamento è una sorta di rappresentazione della differenza tra parametri calcolati dal campione e quelli che in realtà sono della popolazione che si vuole stimare. ϵ non può mai essere determinato con esattezza, tuttavia attraverso lo studio di un campione, è possibile stimare il carattere della popolazione da cui il campione deriva. Da un campione è possibile definire i limiti dell'errore di campionamento con un determinato livello di significatività pari al 95% (o 99%) della popolazione, oppure, definito un ϵ , è possibile determinare la numerosità campionaria ottimale del campionamento scelto.

I metodi di campionamento probabilistici utilizzati in questo lavoro sono :

- il campionamento casuale semplice, con estrazione casuale senza re-immissione;
- il campionamento stratificato.

Formalmente un campionamento casuale semplice senza re-immissione si definisce come l'insieme di variabili casuali indipendenti ed ugualmente distribuite pari alla numerosità n . La funzione di densità di probabilità delle variabili estratte sono uguali a quella della popolazione.

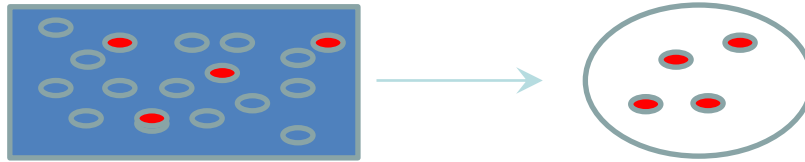


Fig. 2: Rappresentazione concettuale del campionamento casuale semplice.

Solitamente il campionamento casuale semplice è quello a cui si fa costantemente riferimento quando si studiano gli strumenti di statistica inferenziale perché rende semplice e agevole lo studio delle proprietà degli strumenti di stima. A tal proposito il campionamento casuale semplice rappresenta il termine di paragone con cui viene misurata l'efficienza delle procedure di campionamento attraverso l'indice di efficienza del campionamento (DEFF). Tale indice corrisponde al rapporto della varianza dello stimatore del campionamento probabilistico rispetto alla stessa nel caso di campionamento semplice.

$$(1) \text{ DEFF} = \frac{\text{Varianza stimatore campionamento probabilistico}}{\text{Varianza stimatore campionamento casuale semplice}}$$

Il campionamento stratificato, è uno dei possibili campionamenti probabilistici e consiste nella suddivisione della popolazione in

sottopopolazioni comunemente chiamati strati (M). Tale suddivisione deve garantire il più possibile l'omogeneità nei confronti della variabile oggetto di studio; ciò significa che le u.s. del campione da estrarre devono essere organizzate in sotto strati omogenei per una caratteristica qualitativa/quantitativa come ad esempio l'area geografica di origine, il trend di vendite ecc.

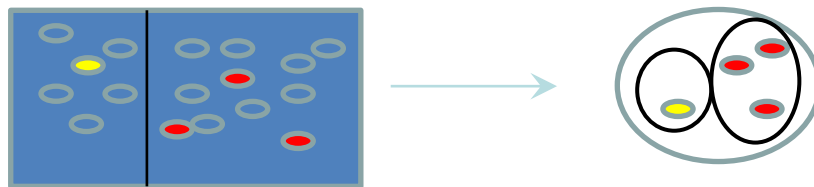


Fig. 3: Rappresentazione concettuale del campionamento stratificato

Le tipologie di campionamento stratificato per determinare la numerosità campionaria k-esimo gruppo (n_k) sono:

- il campionamento stratificato con allocazione proporzionale, caratterizzato dal fatto che il campione rispecchia le stesse proporzioni della popolazione rispetto alla variabile di stratificazione:

$$(2) \quad n_k = n * \frac{N_k}{N} \quad , \quad \forall 1 \leq k \leq M$$

- il campionamento stratificato con allocazione ottimale, caratterizzato dal fatto che il numero di u.s. da estrarre in ogni gruppo, è funzione

della varianza; tanto più è elevata la variabilità della variabile degli strati della popolazione, maggiore sarà il numero delle u.s. da estrarre.

Prima di procedere con il metodo di estrazione delle u.s., tra quello con allocazione proporzionale o ottimale, è necessario calcolare a priori n dal momento che n_k è dipendente dal suo valore.

Fissato lo stimatore del k -esimo strato (φ_k), note le numerosità delle sottopopolazioni (N_k), calcolata la varianza della popolazione ($s^2(\varphi_k)$), fissando una soglia di errore di campionamento (ε) e il livello di significatività α della curva della normale standardizzata Z è possibile calcolare n come da formula (3).

$$(3) \quad n = \left(\frac{\left(\frac{\varepsilon}{Z\alpha/2} \right)^2}{N * \sum_{k=1}^M N_k * s^2(\varphi_k)} + \frac{1}{N} \right)^{-1}, \quad \forall 1 \leq k \leq M$$

E' stato dimostrato che la stratificazione comporta un aumento dell'efficienza delle stime, tuttavia tale aumento è dipendente dal tipo di stratificazione. Nello specifico, il DEFF del campionamento stratificato con allocazione ottimale è minore/uguale di quello con campionamento stratificato proporzionale.

In conclusione la scelta dell'utilizzo del campionamento stratificato rispetto a quello casuale semplice, è giustificato dal fatto che la popolazione è definita in sottogruppi e quindi si decide di sfruttare questa informazione a priori per ottenere stimatori più efficienti.

2.2 LA STIMA PARAMETRICA

La stima parametrica studia il legame di probabilità di una variabile con una popolazione attraverso alcuni parametri. I parametri della popolazione non si possono determinare esattamente se non attraverso i parametri valutati da un campione, come ad esempio la media campionaria, la varianza campionaria.

La teoria della stima parametrica presuppone di definire una funzione che applicata ad un campione, fornisca un parametro (θ) il quale, con un certo grado di fiducia, rappresenti un modello di popolazione. Lo stimatore si può si può generalmente definire come una funzione $t(X)$ che applicata alle u.s. del campione estratto fornisce può essere configurata come realizzazione empirica di uno stimatore (H):

$$H = t(X)$$

dove $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ è una realizzazione casuale di un campione.

La funzione di stima $t(X)$ risulta appropriata se e solo se soddisfa le seguenti proprietà:

- Correttezza in media: quando il valore atteso dello stimatore H ($E(X)$) coincide con il parametro in popolazione (θ),
- Correttezza asintotica: quando la differenza $E(X)$ e θ tende a zero al divergere di n , allora lo stimatore H converge a θ asintoticamente,

- Consistenza: quando lo stimatore H converge in probabilità a θ ,
- Efficienza: quando date due funzioni di stima H_1 e H_2 , lo stimatore H_1 soddisfa la relazione $EQM(H_1) \leq EQM(H_2)$, dove per EQM si intende l'errore quadratico medio.

Le funzioni di stima $t(X)$ possono essere determinate in base a 3 criteri di calcolo:

- il metodo dei momenti;
- il metodo della massima verosimiglianza;
- il metodo dei minimi quadrati.

Il criterio di calcolo di stima dei parametri della funzione esaminata in questa tesi è il metodo della massima verosimiglianza.

Questo consiste nella stima della funzione $(L(\theta^*))$ di un parametro incognito della popolazione (θ), appartenente allo spazio parametrico θ tale che il valore (θ^*) massimizzi la funzione di densità di probabilità¹ (o distribuzione di probabilità) di osservare le possibili u.s. del campione estratto.

$$(4) L(\theta^*) = \max_{\theta \in \Theta} L(\theta)$$

¹ La funzione densità di probabilità (nota anche come distribuzione di probabilità) $f(X)$ di una variabile casuale continua $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ è solitamente usata per determinare la probabilità che X appartenga a un dato intervallo. Il legame probabilistico della variabile casuale X è individuata univocamente in una funzione di ripartizione $F(X) = P(X \leq x)$.

Dal punto di vista matematico, la funzione di verosimiglianza ($L(\theta)$) è la funzione di densità di probabilità congiunta del campione assunta come funzione del parametro θ .

$$L(\theta) = L(\theta; x_1, x_2, \dots, x_n) \propto f(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta)$$

La relazione di proporzionalità è sostituibile con una relazione di uguaglianza per i concetti di induzione statistica, presupposto nella statistica inferenziale (McColl, 2004).

La stima di un parametro può variare da un campione ad un altro, pertanto può essere espressa attraverso intervalli di confidenza. A titolo di esempio, il valore della media campionaria (m) può essere considerato stima dell'incognito valor medio della popolazione (μ), tuttavia può variare da campione a campione. A tal proposito, standardizzando m come una variabile aleatoria $m \sim N\left(\mu, \sigma/\sqrt{n}\right)$ dove σ è lo scarto quadratico medio di popolazione, si dà luogo alla variabile aleatoria standardizzata $Z = \frac{m-\mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0,1)$. Tale standardizzazione, permette di esprimere la differenza tra la media campionaria con quella della popolazione in termini di probabilità con un grado di fiducia pari a $1 - \alpha = 0.95$ come segue:

$$(5) P\left(-z_{\alpha/2} \leq Z \leq +z_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha$$

Per mezzo di questa relazione probabilistica è possibile quindi definire un intervallo di confidenza del parametro della popolazione stimato come:

$$(6) \text{ intervallo}_{\mu} = \left[m - z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; m + z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

I parametri e quindi l'intervallo di variazione cambiano in base alla funzione massimizzata nel metodo di massima verosimiglianza. Per questo motivo, le analisi di questa tesi, prenderanno in considerazione la funzione di probabilità che meglio rappresenta i dati analizzati in base al valore del BIC (Bayesian Information Criterion) più piccolo in valore assoluto (Burnham & Anderson, 2002). Tale criterio di scelta permette di selezionare una distribuzione di probabilità tra una classe di distribuzioni parametriche con un diverso numero di parametri.

Il BIC è definito come da formula (7):

$$(7) \text{ BIC} = -2 \ln(L(\theta^*)) + \vartheta * \ln(n)$$

Dove ϑ è il numero di parametri della distribuzione di probabilità.

2.3 L'ANOVA

L'ANOVA è un metodo statistico che permette di analizzare la variabilità della popolazione attraverso un campione; tale variabilità vuole essere giustificata dall'esistenza di gruppi di u.s. distinti in funzione di modalità qualitative/ quantitative comuni, denominati fattori. L'ANOVA infatti prevede l'analisi della variabilità tra ed entro i gruppi formati in funzione dei fattori; in funzione del numero di questi fattori è possibile distinguere due metodi di analisi:

- ANOVA a un fattore: tipicamente usato per indagare se un evento dipende da una specifica modalità qualitativa/ quantitativa delle u.s.
- ANOVA a 2 (o più) fattori: usato per indagare se un evento dipende da 2 o più modalità qualitative/ quantitative delle u.s., o se tra le due modalità prese in esame esiste interazione.

In questa tesi è stato preso in esame il metodo ANOVA a 2 fattori, il quale prevede che la variabile oggetto di studio, osservata per un campione di numerosità n ($w=1\dots n$), sia esprimibile come modello lineare come da formula (8).

$$(8) y_{ijw} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijw}$$

dove: $i=1,\dots, p$ è l'indice del fattore 1; $j=1,\dots, q$ è l'indice del fattore 2; $w=1,\dots, n$ dove n è la numerosità del campione.

La variabile oggetto di studio y_{ijw} dipenderà quindi dal coefficiente μ che indica il valor medio percentuale della variabile presa in esame, α che indica il fattore i-esimo, β il fattore j-esimo, $(\alpha\beta)_{ij}$ l'interazione tra il fattore α ed il fattore β , mentre ε_{ij} l'elemento di "disturbo" (comunemente chiamato residuo) che distingue gli elementi entro e tra i gruppi.

Le tre ipotesi sottostanti il metodo ANOVA a 2 fattori, sono state verificate con un livello di significatività pari al 95%:

La procedura di analisi dell'ANOVA a due fattori prevede la verifica di tre ipotesi con un livello di significatività fissato in funzione di una percentuale di errore specificata a priori.

Le ipotesi testate in questo lavoro sono:

- l'ipotesi che le medie delle popolazioni del primo fattore siano uguali. Si verifica l'ipotesi nulla $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_p$, di nessuna differenza tra le medie del fattore α contro l'ipotesi alternativa H_1 dove non tutte le medie sono tra loro uguali;
- l'ipotesi che le medie delle popolazioni del secondo fattore siano uguali. Si verifica l'ipotesi nulla $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_q$, di nessuna differenza tra le medie del fattore β , contro l'ipotesi alternativa H_1 nella quale non tutte le medie sono tra loro uguali;

- l'ipotesi nulla di nessuna interazione tra i fattori α e β ai vari livelli.

Si verifica l'ipotesi nulla $H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$ per ogni i e j , contro l'ipotesi alternativa $H_1: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ per almeno un ij .

In questa analisi sono adottate le procedure di calcolo delle varianze entro e tra gruppi (Ross,2014). Inizialmente è calcolata la varianza del primo fattore ($MS(\alpha)$) e quella del secondo fattore ($MS(\beta)$); a seguire si calcola la devianza totale (SS_{TOT}) secondo il teorema della devianza totale, intesa come la somma della devianza spiegata dal fattore α ($SS(\alpha)$), della devianza spiegata fattore β ($SS(\beta)$) e della devianza non spiegata ($SS(\epsilon)$). Questo permette di calcolare la varianza non spiegata ($MS(\epsilon)$) in funzione dei relativi gradi di libertà (Gdl). Le varianze permettono inoltre di ottenere le statistiche test F di Fischer per i due fattori e per l'interazione. Quando il fattore F calcolato è maggiore di quello tabulato sulla tavola F-Fischer, per un fissato errore del 5% e per determinati Gdl al numeratore ed al denominatore, si rifiuta l'ipotesi nulla H_0 , altrimenti si accetta.

Tab. 1: Tabella riassuntiva operazioni ANOVA a 2 fattori

Tabella dati ANOVA a due fattori					
	Devianza	Gdl	Varianza	F	Prob>F
Fattore α	$SS(\alpha)$	$p-1$	$MS(\alpha)$	$MS(\alpha)/MS(\epsilon)$	Significativo O Non significativo
Fattore β	$SS(\beta)$	$q-1$	$MS(\beta)$	$MS(\beta)/MS(\epsilon)$	Significativo O Non significativo
Iterazione $\alpha\beta$	$SS(\alpha\beta)$	$(p-1)*(q-1)$	$MS(\alpha\beta)$	$MS(\alpha\beta)/MS(\epsilon)$	Significativo O Non significativo
Errore	$SS(\epsilon)$	$(n-1)*(p*q)$	$MS(\epsilon)$		
Totale	$SSTOT$	$n*p*q-1$			

Verificate le ipotesi, è possibile valutare la dipendenza della variabile oggetto di studio dai fattori presi in esame quindi gli effetti medi dei fattori o le loro interazioni.

3. MATERIALI & METODI

In questa sezione saranno descritti i materiali utilizzati, intesi come le trattrici, i software, ed i metodi statistici impiegati per ogni fase delle analisi.

Sarà descritta la popolazione obiettivo, le u.s. esaminate, la raccolta dati per ciascuna trattrice e la creazione del dataset. Infine saranno illustrate delle analisi applicate al presente contesto, al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati.

3.1 LA POPOLAZIONE E IL CAMPIONE DI TRATTRICI ANALIZZATE

3.1.1 Il trattore esaminato e il suo mercato di vendita

Le trattrici prese in esame in questo lavoro appartengono ad una famiglia di trattrici prodotte da CNH Industrial per colture commerciali su vasta scala.

La variazione di velocità di avanzamento delle trattrici avviene tramite l'azionamento di una leva nel quale sono presenti dei pulsanti di diversa gradazione cromatica che indicano il cambio marcia; inoltre gli ingranaggi si raggruppano in tre gamme: la lenta, la media e la veloce (Fig.4).

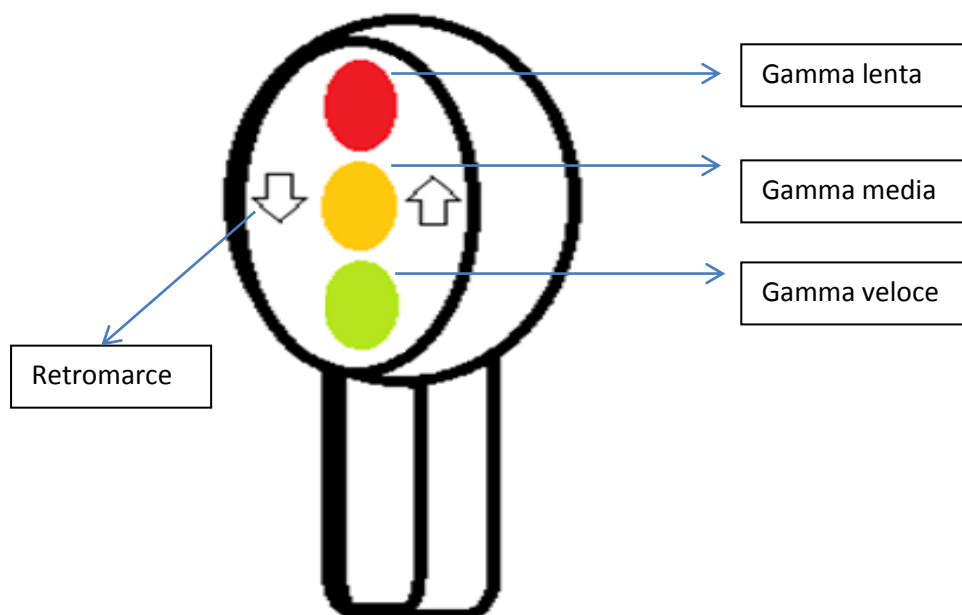


Fig. 4: Rielaborazione disegno della leva del cambio

Le informazioni sulla popolazione delle trattrici vendute è funzione delle macro aree di vendita E ed N, e alla potenza massima del motore, suddivisa in tre intervalli: $< A$ kW, A kW e $>A$ kW. Tali intervalli son stati determinati in funzione della potenza massima del motore delle trattrici analizzate, pertanto il valore che discrimina i due intervalli è la media calcolata della somma tra la più bassa e la più alta potenza tra le potenze massime del motore. Le trattrici sono state vendute per il 76% in E, per il 24% in N e nella maggioranza dei casi le trattrici vendute hanno potenza massima del motore maggiore di A kW (Tab. 2).

Tab. 2: Percentuale media di vendita delle trattrici nel N ed E.

	Potenza massima del motore [kW]		
	$< A$	A	$> A$
E	27%	15%	34%
N	2%	8%	14%

Le informazioni sulle percentuali di vendita delle trattrici sono materiale utile ad identificare le regole di inferenza statistica per il metodo di campionamento e il numero di trattrici da analizzare.

3.1.2 Il CAN-Bus e la creazione del dataset

Le trattrici prese in esame in questo lavoro hanno un sistema di sensori tra loro interconnessi per il controllo dei diversi sottosistemi (Fig. 5); le informazioni lette dai sensori (S1, S2.....S9) vengono elaborate da una specifica centralina per ogni sottosistema (C1, C2, C3). Tali centraline comunicano con la Centralina principale (C1) lungo la linea CAN-Bus (CAN1, CAN2 e CAN3). Nella centralina C1 è stato installato un DL che permette di memorizzare i segnali CAN-Bus ad una frequenza di 100Hz.

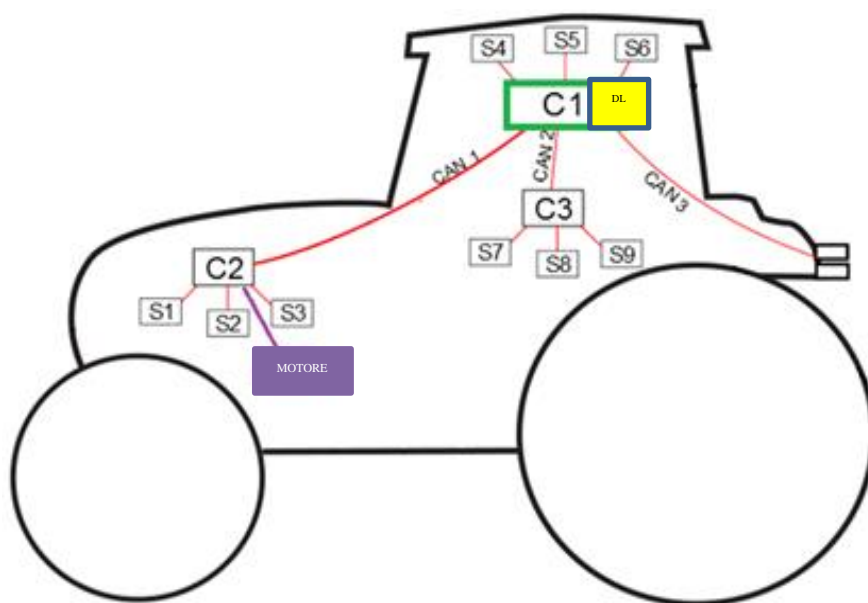



Fig. 5: Disegno stilizzato della linea CAN-Bus e dei dispositivi

Il DL è configurato tramite un computer e registra su una memory card i segnali della marcia innestata. I dati sono stati importati in Octave (<https://www.gnu.org/software/octave/>) al fine di analizzarli. Ciascun

operatore ha compilato il profilo tecnico della propria trattrice; nello specifico sono stati memorizzati: il numero seriale della trattrice, il modello, l'area geografica di vendita e il tipo di trasmissione. Dopo circa un anno, pari a 800h lavorative, sono stati scaricati i valori massimi memorizzati nel DL. Tali valori corrispondono ad istogrammi che esprimono il tempo percentuale di utilizzo di una specifica marcia innestata per tutto il ciclo di utilizzo di ogni specifica trattrice. Per mezzo di tali conteggi è stata creata una matrice di dati multidimensionali (XxY) con lo scopo di riassumere le informazioni necessarie per le analisi. (Tab.3). Le righe X della matrice corrispondevano alle n trattrici monitorate, mentre le colonne Y le rispettive caratteristiche indagate.

Tab. 3: Descrizione colonne Y della matrice multidimensionale (XxY)

Numero seriale	Area geografica di vendita	Coppia massima motore	Potenza massima del motore	% utilizzo marcia
----------------	----------------------------	-----------------------	----------------------------	-------------------



Neutro	Gamma lenta	Gamma media	Gamma veloce	Retromarce
--------	-------------	-------------	--------------	------------

3.1.3 Le trattrici campionate e il piano sperimentale

Il processo di generalizzazione dei dati dell'inferenza statistica permette l'estrazione di u.s. secondo precise regole di campionamento probabilistico. Pertanto in questo lavoro sono stati estratti tre campioni di trattrici al fine compiere tre macro analisi:

- **analisi preliminare:** consiste in un esperimento che monitora trattrici per identificare fattori che influenzano il tempo di utilizzo delle gamme. Per mezzo di questa analisi è possibile pianificare regole di campionamento e identificare variabili da prendere in esame nell'analisi esplorativa;
- **analisi esplorativa:** si tratta di un esperimento che monitora trattrici in funzione delle relazioni esistenti tra fattori identificati nell'analisi preliminare. Per mezzo del campione monitorato è possibile stimare la distribuzione delle variabili oggetto di studio e dei loro gruppi identificati in funzione delle modalità dei fattori;
- **analisi aggiuntiva:** analisi predisposta per identificazione di possibili relazioni esistenti tra il diverso utilizzo della gamma media durante una lavorazione e l'intero ciclo di vita delle trattrici.

3.2 LE ANALISI DEL PIANO SPERIMENTALE

3.2.1 Analisi preliminare

Per la prima analisi è stato estratto un campione casuale semplice di **48 trattori** per circa 800 h lavorative, equivalenti a circa un anno di lavoro. Noto che per il calcolo dell'ANOVA a due fattori è necessario confrontare ipotetici gruppi entro il campione con lo stesso numero di repliche, sono state selezionate e quindi monitorate 8 trattatrici in funzione della differente area di vendita e potenza massima del motore di ciascuna trattrice (Tab. 4).

Tab. 4: Numero repliche che compongono il campione delle trattatrici monitorate per analisi preliminare

Area geografica	Potenza massima del motore [kW]		
	< A	A	>A
N	8	8	8
E	8	8	8

A titolo di esempio, in Fig. 6, è rappresentata una porzione dei segnali della marcia innestata; nell'asse delle ordinate sono indicate le marce innestate, mentre in quello delle ascisse il tempo in secondi (s).

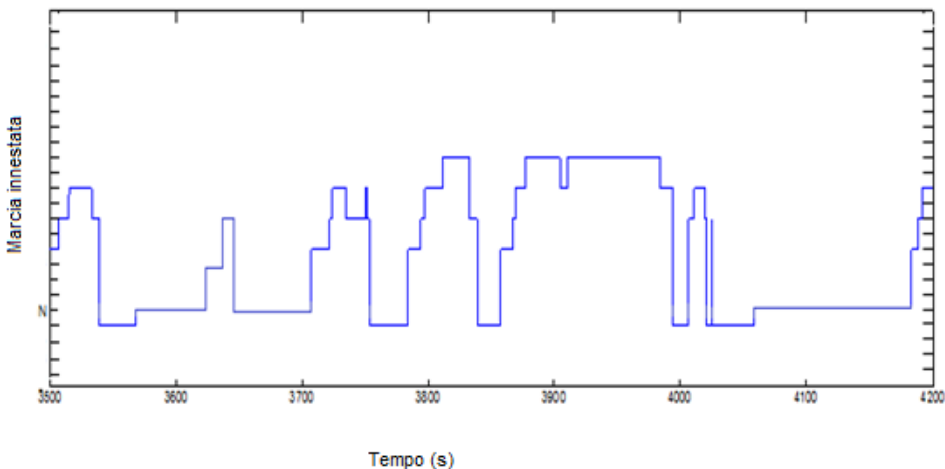


Fig. 6: Porzione del segnale della marcia innestata durante il monitoraggio di una trattrice.

Per l'intero campione, sono state calcolate le percentuali medie di 4 variabili oggetto di studio: il neutro, la gamma lenta, la media la veloce e le retromarce. Dato che la variabile neutro conta un valore superiore al 25% e che la percentuale media di utilizzo della gamma media è maggiore del 50%, la loro somma spiega circa l'80% della vita lavorativa media della famiglia di trattatrici prese in esame (Fig. 7).

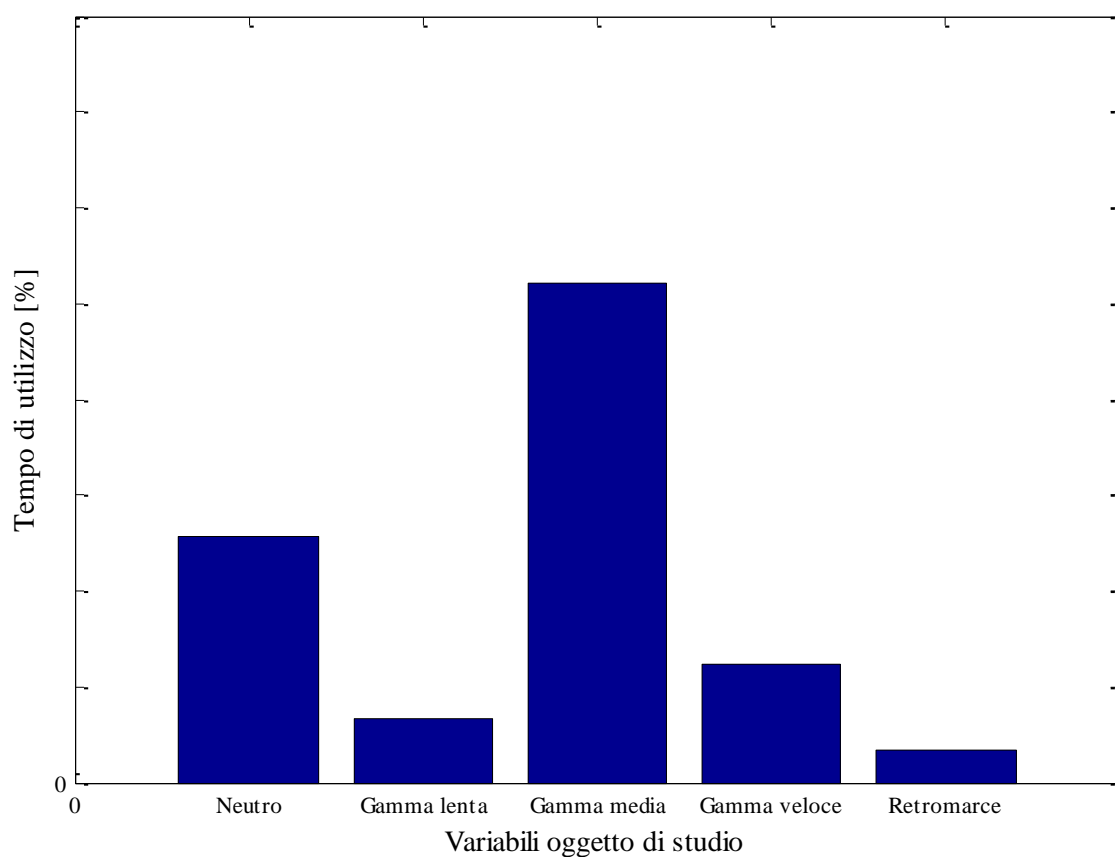


Fig. 7: Percentuale media di utilizzo delle variabili oggetto di studio dei trattori campionati nell'analisi preliminare.

Riscontrata la rilevanza delle due variabili sul tempo totale di utilizzo della trattrice, è stato deciso di applicare l'ANOVA a due fattori solo su queste due variabili. Le restanti variabili oggetto di studio contano infatti complessivamente un valore circa del 20 % di ore di utilizzo; questa soglia di utilizzo è troppo bassa per poter indagare tramite l'ANOVA

sull'esistenza di gruppi funzione dell'area geografica e potenza massima motrice.

Le due variabili sono state considerate come rappresentazione di un modello lineare come da formula (6). La variabile dipendente y_{ijw} indica prima la variabile percentuale di utilizzo del neutro mentre per la seconda indica la percentuale di utilizzo della gamma media di ciascun trattore. Il coefficiente μ indica il valor medio percentuale della variabile presa in esame, α indica il fattore area di vendita, β indica il fattore potenza massima del motore, $(\alpha\beta)_{ij}$ rappresenta l'interazione tra il fattore α ed il fattore β , mentre ε_{ij} rappresenta il residuo del modello lineare.

In Tab. 5 sono indicati i risultati dell'ANOVA per la variabile neutro; dai dati è evidente come la devianza di y_{ij} , intesa come la somma delle devianze dei fattori di variabilità, sia principalmente spiegata da ε_{ij} . Il test di F-Fisher non rifiuta le ipotesi H_0 , pertanto i due fattori non sono significativi e quindi i fattori di variabilità di utilizzo medio della variabile neutro non sono né l'area geografica, né la potenza massima motrice e tanto meno la loro interazione; questo indica che la variabile oggetto di studio neutro è funzione di altri fattori di variabilità ε_{ij} diversi da quelli presi in esame.

Tab. 5: Risultati ANOVA a due fattori per la variabile percentuale utilizzo del neutro

Fattori di Variabilità	Devianze	Gdl	Varianze	F	Prob>F
Area geografica (α_i)	740,1	2	370,05	1,083	Non significativo
Intervalli potenza massima motrice (β_j)	0,6	1	0,60	0,002	Non significativo
Interazione ($\alpha\beta$) _{ij}	75,2	2	37,60	0,110	Non significativo
ε_{ij}	15237,6	42	362,80		
y_{ij}	16053	47	341,55		

Per quanto riguarda invece l'ANOVA calcolata sulla variabile gamma media, i due fattori presi in esame non sono significativi, quindi non spiegano la variabilità dell'utilizzo della gamma (Tab. 6). Risultato opposto invece l'interazione tra dei fattori di variabilità che secondo il test F-Fischer risulta significativa, quindi esistente.

Tab. 6: Risultati ANOVA a due fattori per la variabile percentuale utilizzo della Gamma media

Fattori di Variabilità	Devianze	Gdl	Varianze	F	Prob>F
Area geografica (α_i)	190	2	95	0,6	Non significativo
Intervalli potenza massima motrice (β_j)	74	1	74	0,4	Non significativo
Interazione ($\alpha\beta$) _{ij}	1074	2	537	3,2	Significativo
ε_{ij}	7052	42	167,90		
y_{ij}	8494	47	180,72		

Verificate le ipotesi, e identificata l'interazione tra i fattori per la variabile gamma media, in Fig. 8 sono state rappresentate le interazioni medie al fine di interpretare la diversa dinamica di utilizzo di ciascun gruppo interno al campione.

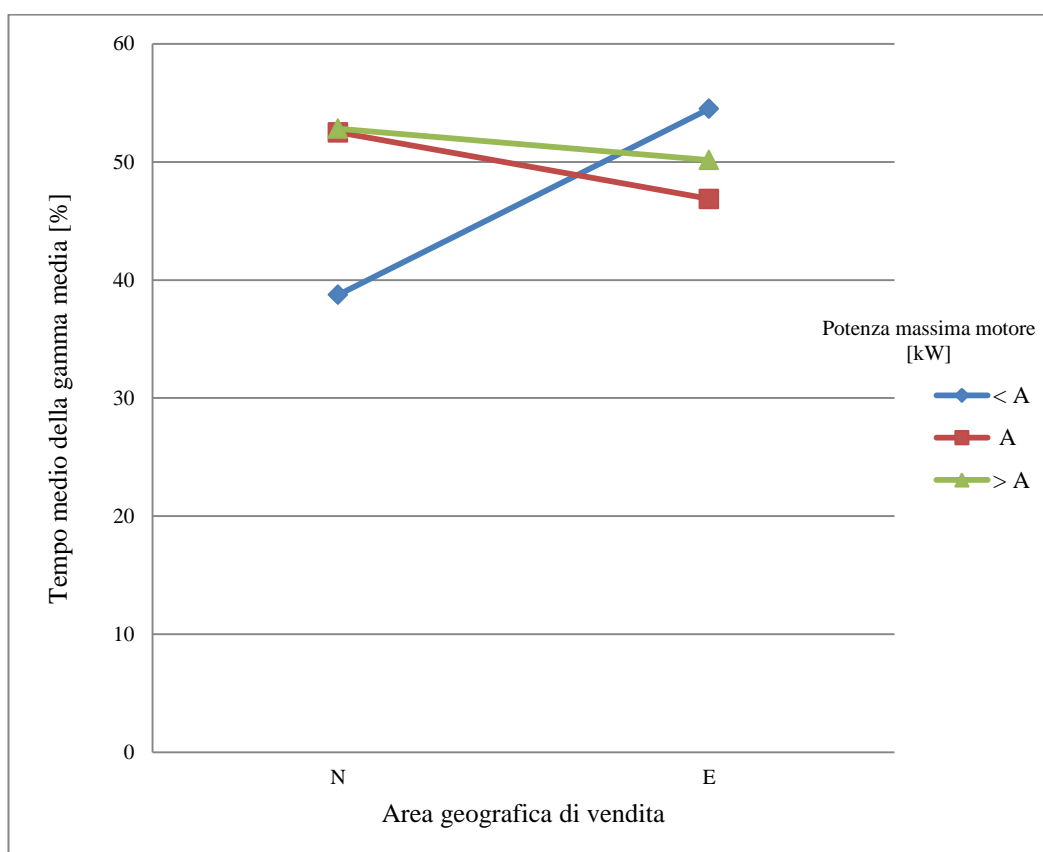


Fig.8: Grafico interazioni tra fattori per la variabile gamma media

Dal grafico si rileva come l'effetto dei diversi intervalli di potenza massima del motore varia passando da N ad E, in particolare per l'intervallo di potenza < A kW. Gli effetti dei due fattori non sono additivi, infatti le

trattrici con potenza massima motrice pari a A kW posizionate in E sono state meno usate in gamma media rispetto a quelli posizionati in N. Analogamente, invertendo i termini, vale per l'intervallo di potenza $< A$ kW.

Il metodo descritto in questo paragrafo, ha permesso quindi di identificare l'esistenza dell'interazione tra l'area geografica e la potenza massima del motore per la variabile gamma media, la variabile che spiega più del 50% di utilizzo medio della trasmissione di una trattoria. Da tale relazione è presumibile quindi ipotizzare che il diverso utilizzo della variabile gamma media in funzione dei fattori esaminati, a sua volta influisca sull'utilizzo medio delle altre variabili oggetto di studio. Al riguardo, è stata pianificata un'analisi esplorativa con lo scopo di analizzare nel dettaglio i diversi valori di ciascuna variabile (neutro, gamma lenta, veloce, media e retromarce) attraverso un campione di trattorie estratto in funzione delle diverse modalità dell'area geografica e della potenza massima motrice esaminati in questa analisi.

3.2.2 Analisi esplorativa

Per la seconda analisi è stato estratto un campione stratificato senza reintroduzione, con probabilità costante all'interno di ciascuno strato. Il campionamento stratificato è stato preferito al campionamento casuale semplice perché più efficiente.

L'analisi esplorativa, è stata pianificata al fine di approfondire le dinamiche di utilizzo delle trattrici in funzione dei fattori area geografica e potenza massima del motore, verificati dalla precedente analisi come fattori che interagiscono sul diverso utilizzo della gamma media, la variabile che secondo l'analisi preliminare risulta essere la predominante perché più usata delle altre.

Le regole di stratificazione del campione sono state quindi definite in linea con i due fattori identificati nella precedente analisi. Gli strati sono stati definiti in base alle percentuali di vendita della popolazione, pertanto sono stati definiti 2 strati (M) corrispondenti all'area di vendita (Fig. 9). Ciascuno strato è stato a sua volta classificato in base ai tre intervalli di potenza massima del motore in linea con le informazioni della popolazione (Tab. 2). Gli intervalli di potenza del motore anche in questo caso sono stati calcolati in funzione del valore centrale della potenza massima motrice delle trattrici prese in esame: le trattrici con potenza motrice $<A$ kW, A kW e quelle $\geq A$ kW.

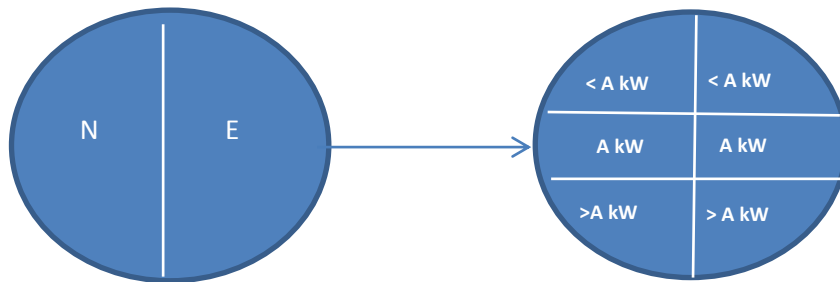


Fig. 9: Rappresentazione della stratificazione della popolazione di trattori analizzata.

Fissato lo stimatore della proporzione φ_k , come le proporzioni di trattori con diverso intervallo di potenza motore nello strato k-esimo della popolazione, è stata calcolata la varianza della popolazione per ogni strato $s^2(\varphi_k)$ ed estratto un campione di numerosità (n^*) di **236 trattori** che sono state usate per circa 800 h lavorative.

La procedura di calcolo della numerosità campionaria n^* ha previsto inizialmente il calcolo di due numerosità n come da formula (3): un n_{min} e un n_{max} . Tali valori corrispondono a un intervallo di n possibili trattori da estrarre: il primo rappresentativo della popolazione per il 95% e il secondo per il 90 %.

n_{min}	n^*	n_{max}
73	236	283

Note n_{min} e n_{max} , è possibile affermare che n^* sia rappresentativo per un ε compreso tra il 5 e il 10 %, tuttavia è stato calcolato l'effettivo errore di campionamento (ε^*) dal campione estratto, per mezzo della formula (9) fissando il quantile di variabile standardizzata pari a $z_{\frac{\alpha}{2}} = 1,96$.

$$(9) \quad \varepsilon^* = \left(z_{\frac{\alpha}{2}}^2 * \frac{\varphi_k(1 - \varphi_k)}{n^*} * \frac{N - n^*}{N} \right),$$

È importante ricordare come l'errore di campionamento consenta di effettuare analisi che riguardano la popolazione; tuttavia la validità di una certa affermazione non può essere considerata certezza. Per questo motivo, le stime successive sono state legate a valutazioni probabilistiche connesse ad un concetto predittivo della popolazione di riferimento pari al 90 % quindi con $\varepsilon=10$.

Per quanto riguarda il criterio di selezione di ciascuna u.s. di ogni strato (n_k) è stata presa in considerazione la procedura di allocazione proporzionale come da formula (2), pertanto ciascuno strato del campione è composto come da Tab. 7.

Tab. 7: Numero di trattrici in percentuale che compongono ciascuno strato.

		$n_{k=1}$	$n_{k=2}$
Area geografica di vendita		N	E
Potenza massima del motore kW	<A	19%	38%
	A	13%	12%
	>A	68%	50%

Estratti e monitorati i trattori, la prima operazione sul campione n^* è stata quella di ipotizzare la distribuzione di probabilità delle variabili oggetto di studio, indipendentemente dai fattori area geografica e potenza massima del motore. La procedura di identificazione della distribuzione di ciascuna variabile oggetto di studio si basata sull'analisi del valore medio percentuale, della deviazione standard (SD) e dell'indice di asimmetria Skewness (SK). Scelta la distribuzione che meglio spiegasse i dati, per mezzo della stima di massima verosimiglianza sono stati stimati i parametri e il 5° e il 95° percentile.

Al fine di compiere un'analisi più dettagliata, dal campione sono state analizzate le singole variabili oggetto di studio, per ciascuno strato di trattrice classificata in funzione dell'area di vendita e della potenza massima del motore. Considerando che gli strati sono 6, per ciascuno sono state analizzate le singole variabili oggetto di studio. Sono state quindi classificati 30 gruppi di analisi sintetizzati in Tab. 8.

Tab. 8: Classificazione del campione in gruppi in funzione dei fattori

		NEUTRO		GAMMA LENTA		GAMMA MEDIA		GAMMA VELOCE		RETROMARCE	
	Area geografica	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E
Potenza massima del motore kW	< A	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 7	Gruppo 8	Gruppo 13	Gruppo 14	Gruppo 19	Gruppo 20	Gruppo 25	Gruppo 26
	A	Gruppo 3	Gruppo 4	Gruppo 9	Gruppo 10	Gruppo 15	Gruppo 15	Gruppo 21	Gruppo 22	Gruppo 27	Gruppo 28
	> A	Gruppo 5	Gruppo 6	Gruppo 11	Gruppo 12	Gruppo 17	Gruppo 18	Gruppo 23	Gruppo 24	Gruppo 29	Gruppo 30

Per ciascuno dei gruppi è stata calcolata la percentuale media; tali medie sono state rappresentate attraverso istogrammi con lo scopo di confrontare le percentuali di tempo di utilizzo di ogni variabile per ciascuna categoria di trattore.

Con lo scopo di identificare i gruppi le cui variabili sono maggiormente influenzate dall'interazione dei fattori considerati dall'analisi preliminare, è stata calcolata la matrice differenza percentuale delle variabili oggetto di studio, tra le trattrici N e quelle E per ciascuna combinazione di potenza

massima motore. Le differenze sono state rappresentate attraverso una matrice cromatica, caratterizzata da colori freddi per le differenze negative maggiori del 10 % e colori caldi per quelle opposte. I gruppi le cui differenze risultano maggiori del $\pm 5\%$ sono state considerate come specifiche realizzazioni di variabili aleatorie. La realizzazione di ciascuna variabile aleatore è stata quindi associata ad una funzione di densità di probabilità che meglio spiegasse i dati (Rees, 2000). La soglia del $\pm 5\%$ è stata fissata in merito al fatto che, maggiore è la differenza percentuale di utilizzo di una variabile oggetto di studio, appartenente ad un gruppo, minore sarà la percentuale delle altre 4 variabili dello stesso gruppo preso in esame.

La procedura di identificazione della distribuzione di ciascun gruppo è stata basata anch'essa sull'analisi dei valori medi percentuali di ciascun gruppo, di SD e di SK, quindi la distribuzione di probabilità e i parametri di ciascun gruppo di analisi sono stati stimati per mezzo del criterio di massima verosimiglianza.

3.2.3 Analisi aggiuntiva.

Identificate le distribuzioni e i parametri di ciascuna variabile oggetto di studio, è stata predisposta un'analisi aggiuntiva con lo scopo di identificare possibili relazioni tra i parametri stimati per le variabili oggetto di studio dell'intero ciclo di vita di una trattrice e quelli ottenuti durante una specifica lavorazione. Scopo di questa analisi è stato quindi verificare che le distribuzioni delle variabile neutro, gamma media, lenta veloce e retromarce, monitorate durante una specifica lavorazione, si distribuiscano con una funzione di probabilità, confrontabile con quelle stimate nell'analisi esplorativa.

Per questa analisi, è stato preso in esame un campione casuale semplice di 20 trattatrici tra quelle campionate nell'analisi preliminare. Ciascuna u.s. del campione di questa analisi corrisponde alle trattatrici monitorate durante la lavorazione aratura. La missione è stata monitorata per circa di 5h di lavoro ed anche in questo caso sono stati creati degli istogrammi che conteggiano il tempo percentuale di utilizzo delle specifiche marce innestate e le rispettive variabili oggetto di studio (il neutro, la gamma lenta, media e veloce e le retromarce).

A causa del numero esiguo di trattatrici monitorate non è stata predisposta un'analisi dettagliata in funzione dei fattori area geografica e potenza massima del motore ma sono state ipotizzate le distribuzioni di probabilità

per tutto il campione, delle sole variabili con percentuale media di utilizzo maggiore del 25 %.

Anche per questa analisi è stato adottato come metodo di stima il metodo della massima verosimiglianza; sono stati quindi stimate le distribuzioni ipotizzate, i parametri ed i rispettivi 5° e 95° percentili. Tali parametri sono stati infine oggetto di confronto con quelli stimati per l'intero il campione di trattatrici nell'analisi esplorativa.

4. RISULTATI

Per quanto riguarda l'analisi esplorativa, l'errore di campionamento del campione stratificato di numerosità n^* è $\varepsilon^* = 7,8 \%$.

L'analisi esplorativa consiste nell'ipotizzare la distribuzione di probabilità delle variabili oggetto di studio (neutro, gamma lenta, media, veloce e retromarce) indipendentemente dai fattori area geografica e potenza massima del motore, pertanto in Tab.9 sono stati indicati i parametri campionari di ciascuna variabile oggetto di studio.

Tab. 9: Statistiche campionarie sulle variabili oggetto di studio.

	NEUTRO	GAMMA LENTA	GAMMA MEDIA	GAMMA VELOCE	RETROMARCE
Valore medio	25.86	6.63	52.03	12.27	6.63
SD	11.10	9.63	15	9.23	9.63
SK	1.45	3.18	-0.2	1.94	3.18

I valori medi sono in linea con le percentuali medie del campione analizzato nell'analisi preliminare. Le variabili neutro e la gamma media contano complessivamente più del 75% dell'utilizzo medio percentuale del ciclo di vita delle trattrici esaminate.

Le percentuali delle 5 variabili esaminate sono pressoché omogenee, infatti i valori di SD sono compresi tra un intervallo di 9 e 11,5, ad eccezione della variabile gamma media che risulta essere 15; tale valore è giustificato dal fatto che la variabile considerata corrisponde alla gamma con maggiore percentuale di utilizzo e quindi maggiore intervallo di variazione.

Per quanto riguarda il valore di SK, tutte le variabili ipotizzano una distribuzione asimmetrica con curva verso destra, ad eccezione della variabile gamma media che con il suo valore negativo prossimo allo zero indica una distribuzione asimmetrica verso sinistra. Per mezzo dei valori medi SD e SK sono state ipotizzate le distribuzioni delle variabili oggetto di studio e stimati i relativi parametri tramite la stima di massima verosimiglianza (Tab. 10) con il valore dell'indice BIC più piccolo in valore assoluto.

Tab. 10: Distribuzione di probabilità ipotizzata e stima dei relativi parametri

	NEUTRO	GAMMA LENTA	GAMMA MEDIA	GAMMA VELOCE	RETROMARCE
Distribuzione	Lognormale	Esponenziale	Weibull	Weibull	Weibull
Parametri	$a = 3.16$ $b = 0.39$	$s = 6.63$	$\theta_1 = 57.82$ $\theta_2 = 3.57$	$\theta_1 = 13.67$ $\theta_2 = 1.47$	$\theta_1 = 3.79$ $\theta_2 = 1.47$
Percentili	$5^\circ = 12.2$ $95^\circ = 45.5$	$5^\circ = 0.34$ $95^\circ = 19.89$	$5^\circ = 25.22$ $95^\circ = 78.57$	$5^\circ = 1.82$ $95^\circ = 28.81$	$5^\circ = 0.49$ $95^\circ = 8.05$

La variabile neutro si distribuisce come una Lognormale che in termini matematici si esprime come la seguente come funzione di densità di probabilità:

$$f(x|a, b) = \frac{e^{-\frac{(\ln x - a)^2}{2(a)^2}}}{x * \sqrt{2\pi * a}}$$

per $x = \%$ della variabile neutro

I parametri della distribuzione Lognormale stimati per la popolazione di trattatrici hanno permesso di tracciare la rispettiva distribuzione (Fig. 10). I valori di neutro variano tra il 5% ed il 75%, tuttavia i valori del 5° e 95° percentile della distribuzione indicano che l'intervallo di variazione

significativo per il 95 % della popolazione delle trattrici prese in esame è compreso tra un valore minimo del 12.2 % e un massimo del 45.5%.

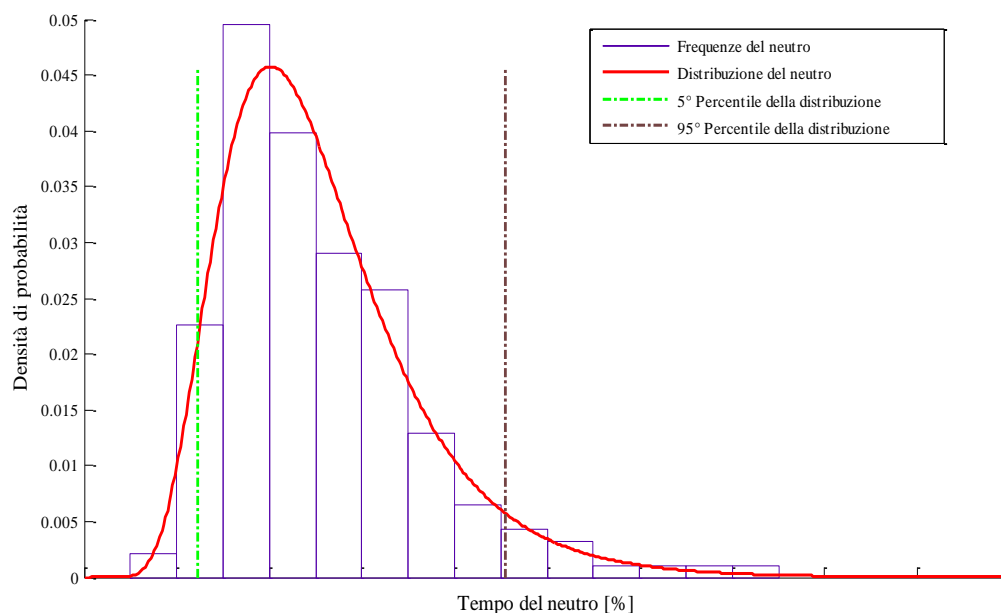


Fig. 11: Distribuzione di probabilità della percentuale di utilizzo del neutro delle trattrici campionate.

La variabile percentuale di utilizzo della gamma lenta si distribuisce come una funzione esponenziale con parametro pari al valore di $s = 6.63$.

$$f(x|s) = s * e^{-s*x}$$

per $x = \% \text{ gamma lenta}$

I valori di gamma lenta (Fig. 11) variano tra lo 0% ed il 70%, tuttavia i valori dei percentili indicano che la percentuale di tempo di utilizzo della gamma lenta in popolazione non è maggiore del 20 %.

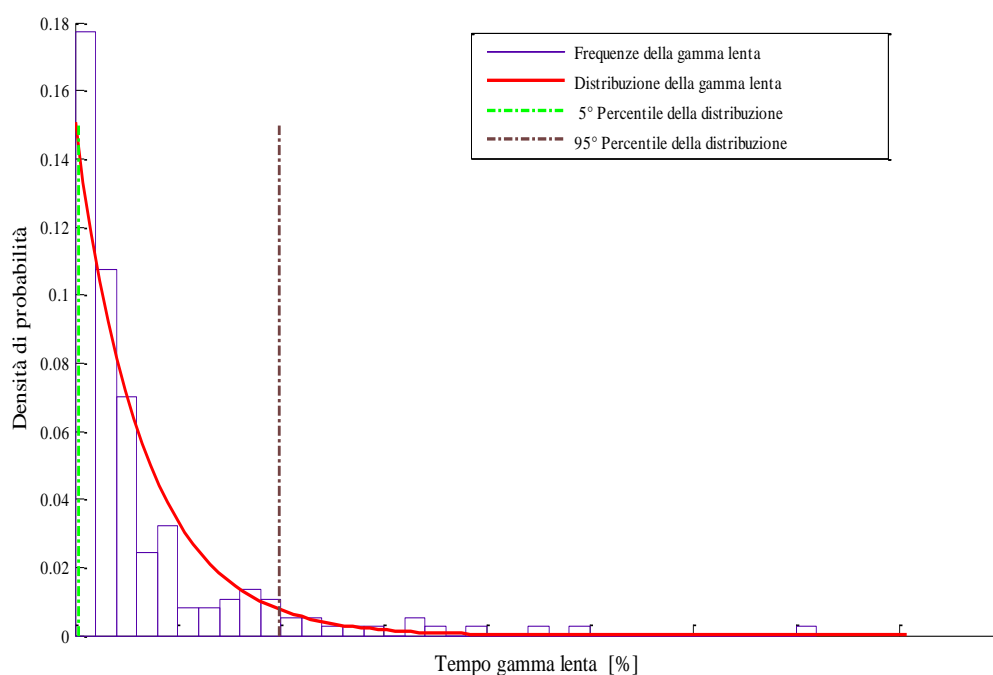


Fig. 11: Distribuzione di probabilità della percentuale di utilizzo della gamma lenta delle trattrici campionate.

Le variabili gamma media, veloce e retromarce si distribuiscono come una Weibull; ciascuna variabile con i rispettivi parametri stimati può essere espressa in termini matematici come la seguente funzione di densità di probabilità:

$$f(x|\theta_1, \theta_2) = \theta_2 * \theta_1^{-\theta_2} * x^{\theta_2-1} * e^{-\left(\frac{x}{\theta_1}\right)^{\theta_2}}$$

per $x =$ variabile oggetto di studio.

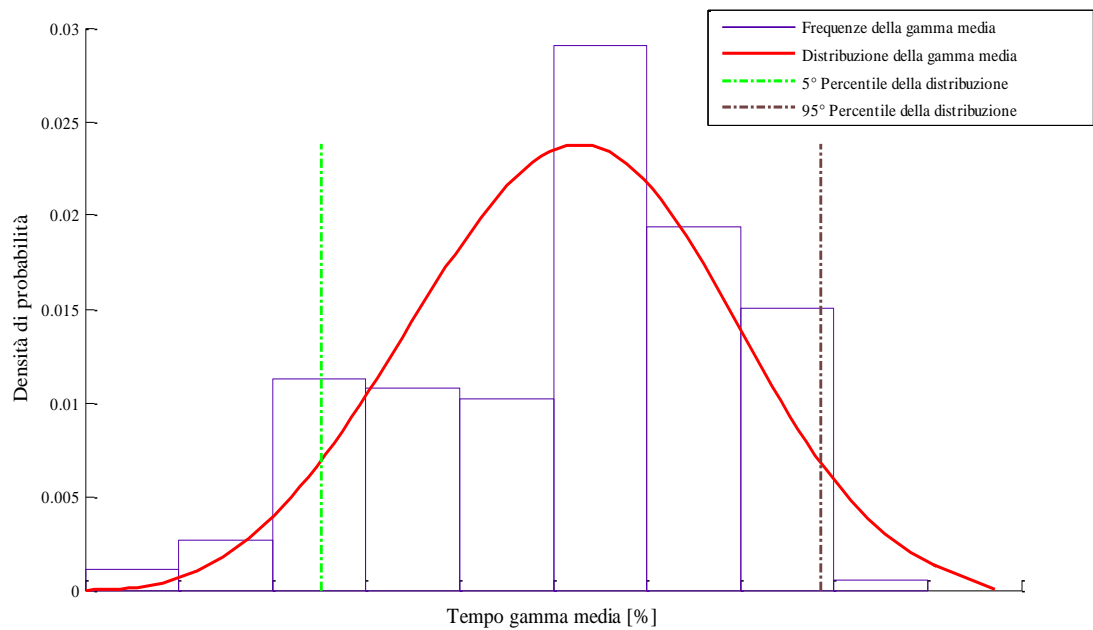


Fig. 12: Distribuzione di probabilità della percentuale di utilizzo della gamma media delle trattrici campionate.

I valori di gamma media (Fig. 12) variano tra lo 0% ed il 90%, tuttavia il valore del 5° percentile indica che per il 95 % della popolazione delle trattrici, la percentuale di tempo di utilizzo della gamma media non è mai inferiore al 25 %,

Per quanto riguarda invece la gamma veloce (Fig.13), in media viene utilizzata da almeno il 5 % della popolazione delle trattrici con dei picchi di macchine che utilizzano tale marcia per il 30 % del tempo totale di utilizzo.

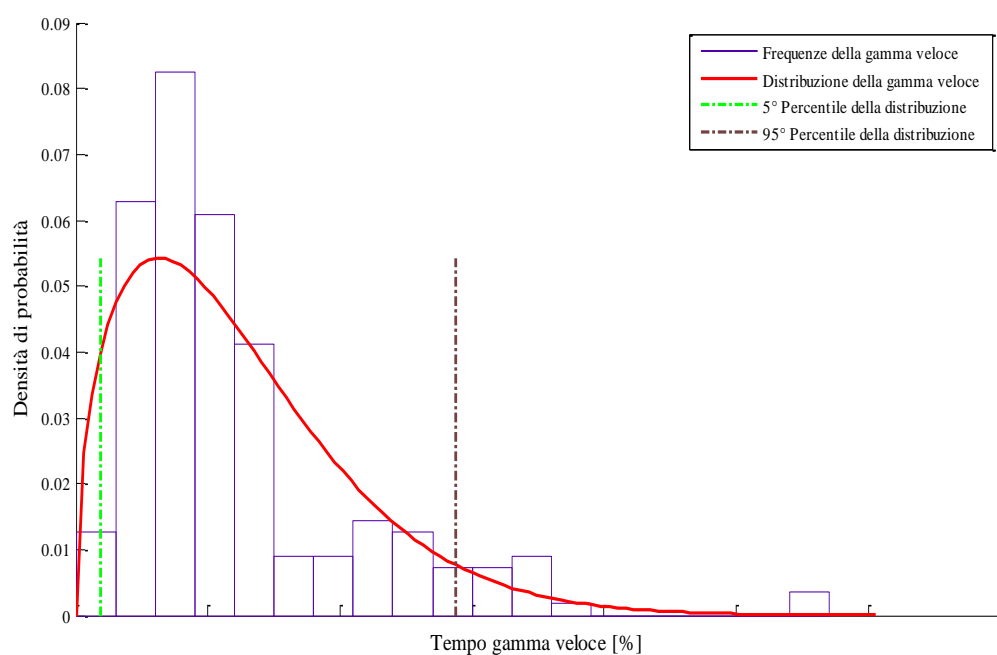


Fig. 13: Distribuzione di probabilità della percentuale di utilizzo della gamma veloce delle trattrici campionate.

Anche la percentuale della variabile retromarce si distribuisce come una e Weibull (Fig. 14), tuttavia in questo caso la percentuale di utilizzo da 95° percentile non è superiore all' 8% .

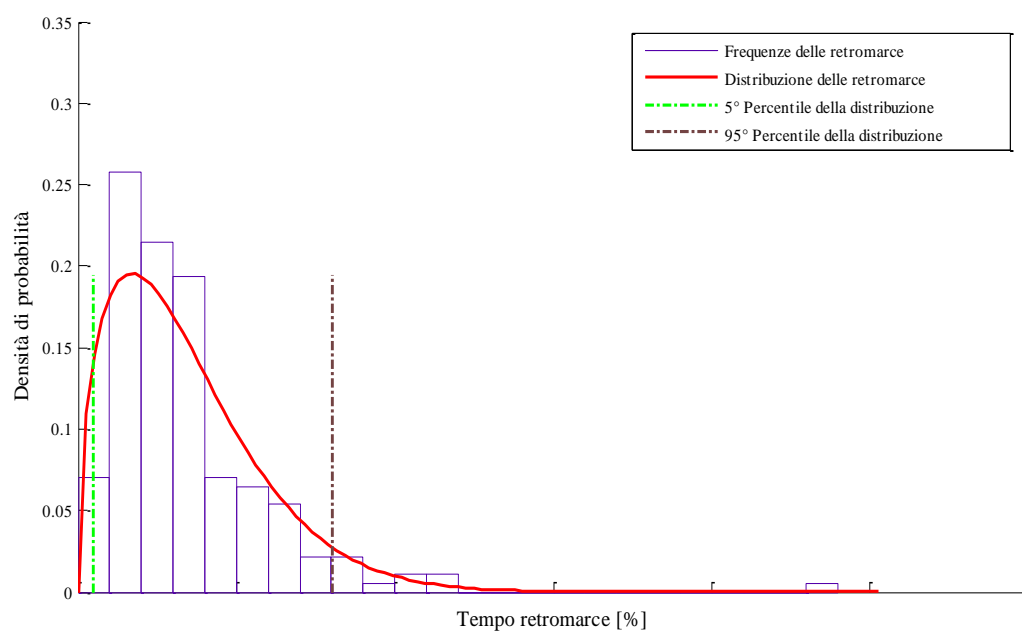


Fig.14: Distribuzione di probabilità della percentuale di utilizzo delle retromarce delle trattrici campionate.

Per ciascuno dei 30 gruppi classificati come da Tab. 8, sono stati calcolati i valori medi, i quali sono stati rappresentati graficamente tramite istogrammi con lo scopo di confrontare le percentuali delle variabili oggetto di studio per ciascuna categoria di trattore E in Fig. 15 (a, b ,c) e N in Fig.16 (a, b ,c)).

La percentuale media della variabile neutro per le trattori E con potenza massima motore $< A$ kW (Fig.15 (a)) è inferiore al 20 %, tale valore non è in linea con i valori delle altre medie del neutro che variano tra il 22 e il 36 %.

La percentuale media della variabile gamma media è maggiore del 40 % per tutti i casi ad eccezione del gruppo di trattori vendute in E con potenza motore $< A$ kW, la cui percentuale media è maggiore del 60%

E' riscontrato inoltre che, la somma delle percentuali medie del neutro e della gamma media, è maggiore del 50%, per ciascuna delle 6 combinazioni area geografica-potenza massima motore, in linea con quanto riscontrato nell'analisi preliminare.

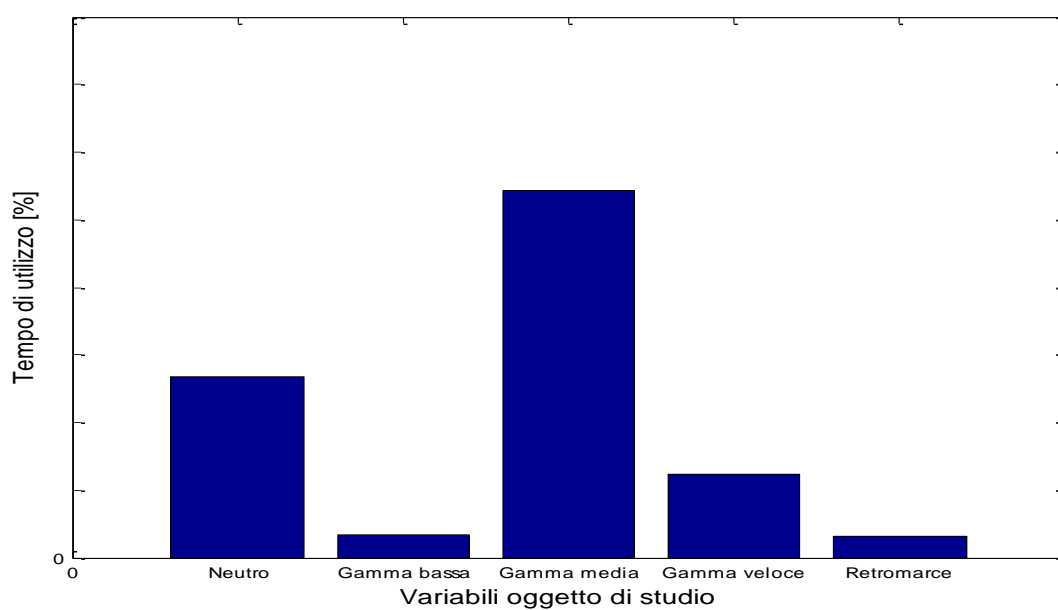


Fig.16 (a): Istogrammi della percentuale media di utilizzo dei raggruppamenti delle trattici N con potenza massima motore < A kW.

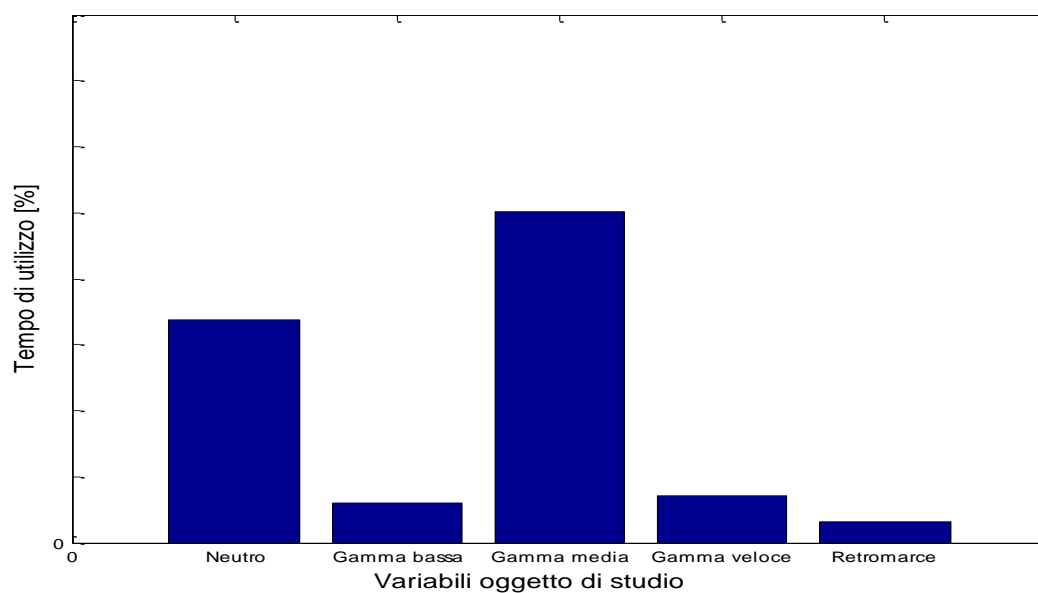


Fig.15 (b): Istogrammi della percentuale media di utilizzo dei raggruppamenti delle trattici N con potenza massima motore A kW.

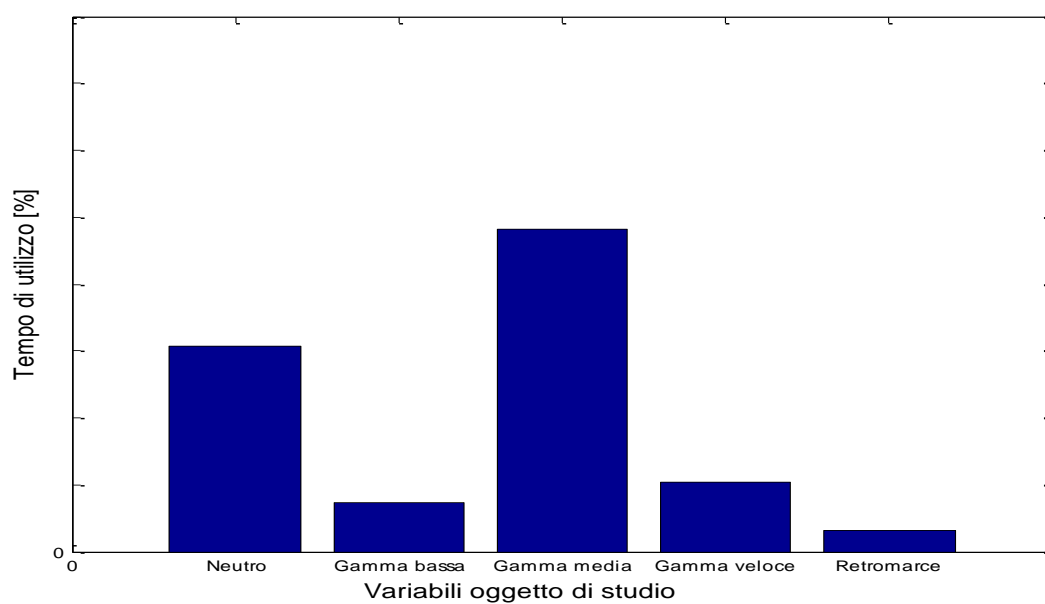


Fig.15 (c): Istogrammi della percentuale media di utilizzo dei raggruppamenti delle trattori N con potenza massima motore > A kW.

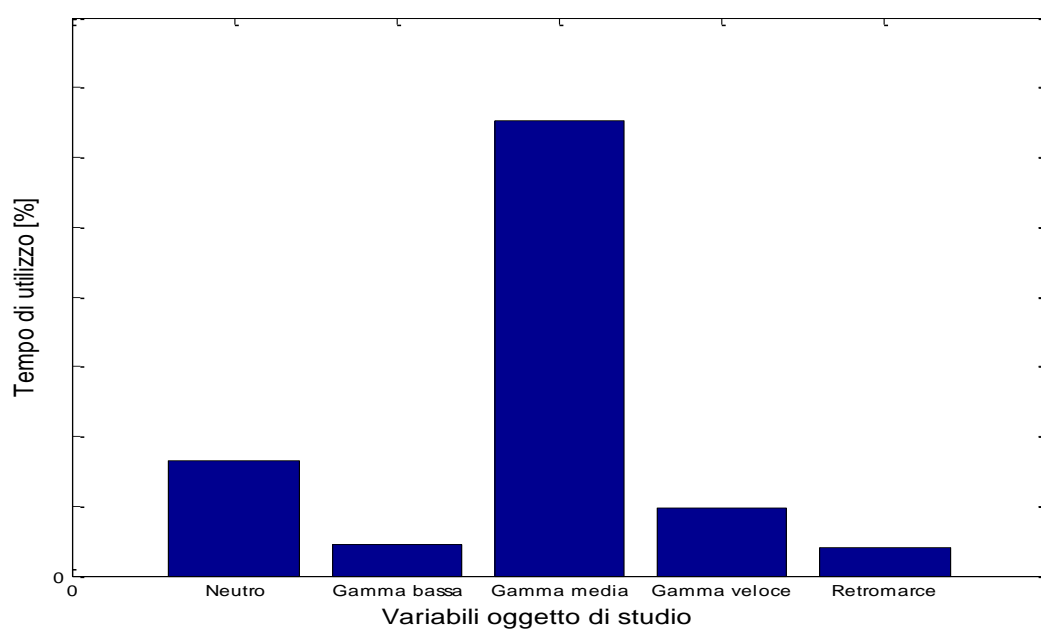


Fig. 16 (a): Istogrammi delle percentuali medie di utilizzo dei raggruppamenti delle trattori E con potenza massima motore < A kW.

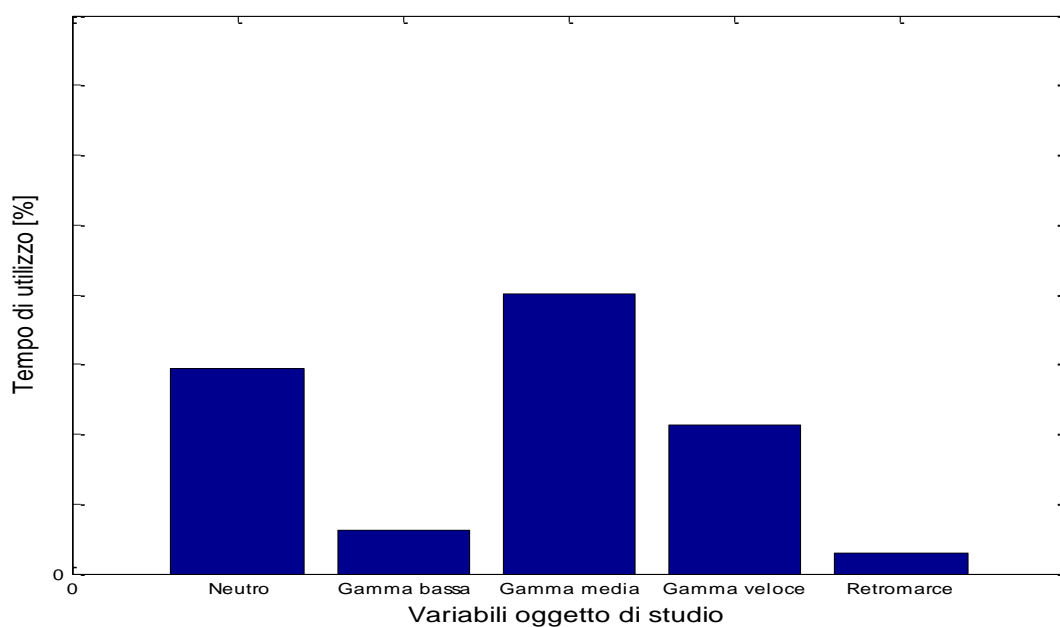


Fig. 16 (b): Istogrammi delle percentuali medie di utilizzo dei raggruppamenti delle trattori E con potenza massima motore A kW.

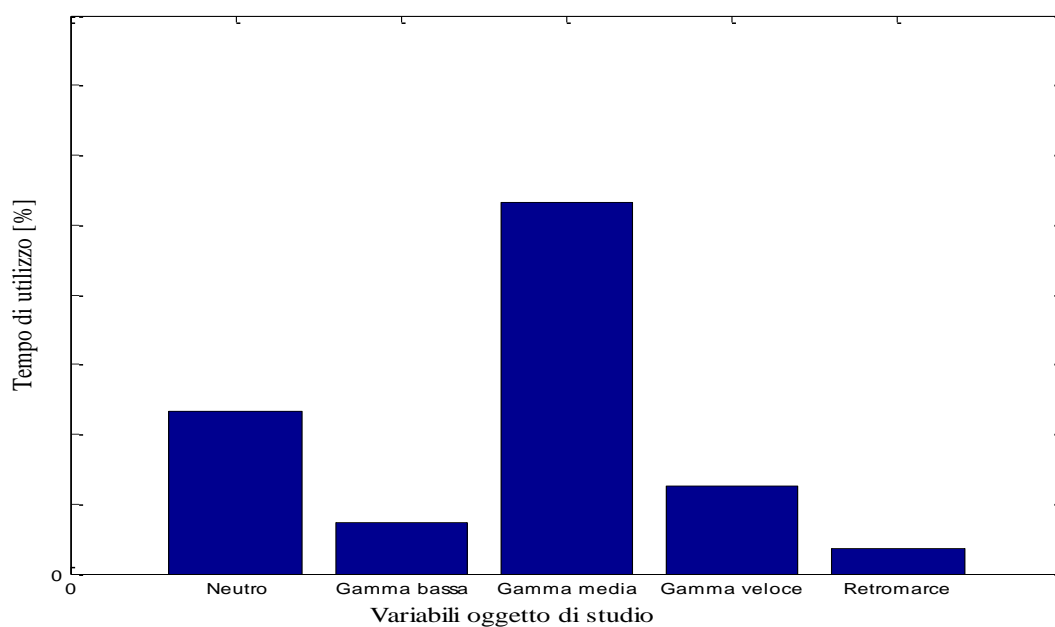


Fig. 16 (c): Istogrammi delle percentuali medie di utilizzo dei raggruppamenti delle trattori E con potenza massima motore > A kW.

In Fig.17 è rappresentata la differenza percentuale tra i valori medi delle trattrici vendute in N ed E. Per ciascun gruppo e ciascuna variabile, le caselle con i colori fucsia indicano valori prossimi al 10 % in più per le trattrici N rispetto che in E. Il colore azzurrino invece indica che la percentuale di utilizzo delle trattrici N rispetto ad E sono inferiori più del 10 %.

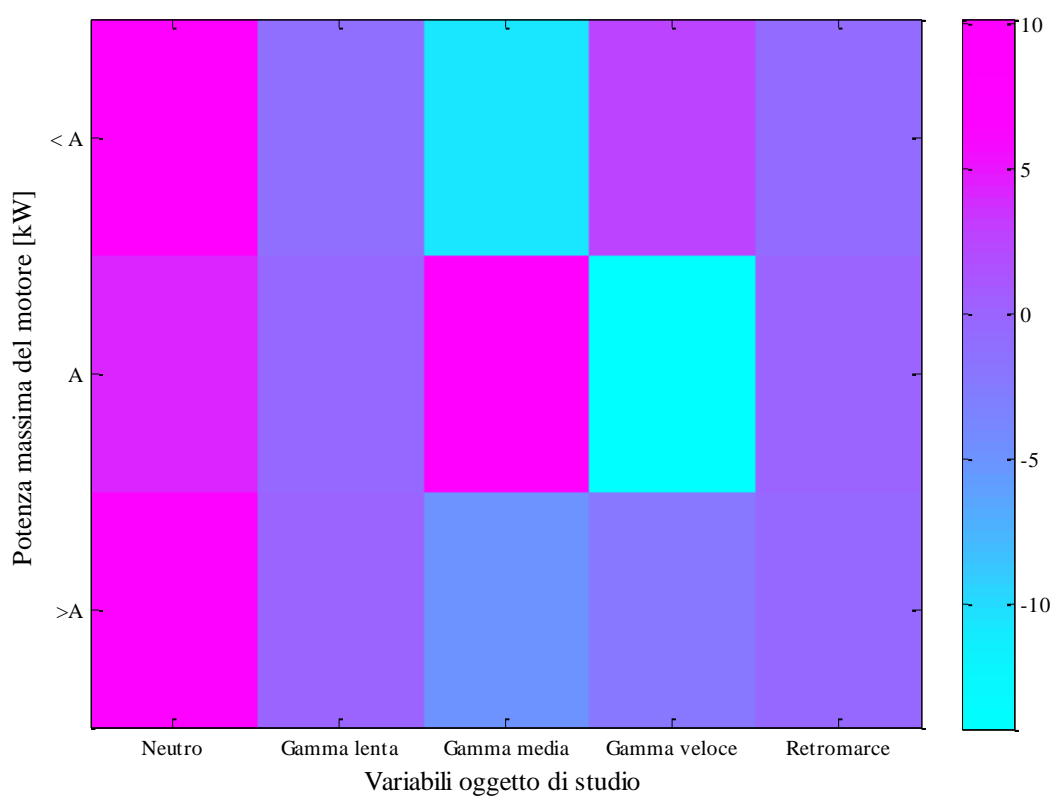


Fig. 17 Differenza percentuale tra gli utilizzi delle trattrici N e quelle E

La matrice cromatica, conferma la relazione d'interazione tra i fattori analizzati nell'analisi preliminare, infatti si evidenziano rilevanti differenze tra le aree geografiche sia per la variabile neutro che per quella della gamma media in particolare per le trattrici con potenza massima motore corrispondente a A kW. Per questo intervallo di potenza, la differenza tra le trattrici N ed E per la variabile gamma media è maggiore del 10 %; di segno opposto invece la variabile gamma veloce. Un trend simile è attribuibile per le trattrici con potenza massima del motore < A kW, ma con differenze intorno al $\pm 5\%$.

Dato che nella matrice cromatica il colore dominante per la variabile neutro è il fucsia, evidenzia che la variabile presa in esame varia tra il 5 e il 10 % indipendentemente dalla potenza del motore, ma dall'area di vendita. Le variabili gamma lenta e retromarce invece, non evidenziano differenze percentuali e né tra le aree geografiche né in funzione dell'intervallo di potenza massima del motore delle trattrici.

Dalle considerazioni riscontrate, è stato deciso di analizzare i seguenti gruppi classificati in Tab. 8: Gruppo 1, Gruppo 2, Gruppo 3, Gruppo 4 Gruppo 5, Gruppo 6, Gruppo 13, Gruppo 14, Gruppo 15, Gruppo 16, Gruppo 17, Gruppo 18, Gruppo 21, Gruppo 22.

I valori di SD e SK di ciascun gruppo sono in linea con quelli calcolati per la variabile oggetto di studio associata all'intero campione (Tab.9); in

Tab.11 le distribuzioni di ciascun gruppo non variano rispetto a quella delle variabili analizzate per l'intero campione (Tab.10).

Tab. 11: Distribuzioni di probabilità stimata di ciascun gruppo.

	Area geografica	NEUTRO		GAMMA LENTA		GAMMA MEDIA		GAMMA VELOCE		RETROMARCE	
		N	E	N	E	N	E	N	E	N	E
Potenza massima del motore kW	< A kW	Lognormale	Lognormale	-	-	Weibull	Weibull	-	-	-	-
	A kW	Lognormale	Lognormale	-	-	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	-	-
	> A kW	Lognormale	Lognormale	-	-	Weibull	Weibull	-	-	-	-

Tab. 12: Tabella percentili della distribuzione dei gruppi ripartiti in funzione dei fattori di variabilità.

	Area geografica	NEUTRO		GAMMA MEDIA		GAMMA VELOCE	
		N	E	N	E	N	E
Potenza massima motore kW	< A kW	5° = 10.8 95° = 45.2	5° = 10.10 95° = 41.5	5° = 25.3 95° = 76	5° = 26.1 95° = 84.2	-	-
	A kW	5° = 12.80 95° = 56	5° = 11.10 95° = 45.5	5° = 25.01 95° = 80.40	5° = 17.9 95° = 68.5	5° = 0.9 95° = 11	5° = 5.7 95° = 30.1
	> A kW	5° = 12.1 95° = 52.31	5° = 11.40 95° = 44.90	5° = 24.9 95° = 76.78	5° = 24.88 95° = 79.2	-	-

I percentili di ogni gruppo classificato per ciascun fattore è in linea con i percentili del campione globale anche i percentili delle trattrici con potenza paria a A kW riscontrano intervalli significativamente differenti per le gamme medie e veloci in funzione delle aree geografiche come evidenziato nella matrice differenza in Fig. 17. Dalla Tab. 12 si evidenzia infatti come le trattrici con tale potenza massima motore abbiano la gamma veloce fino a 19 punti percentuali in più in E rispetto a quelli N, mentre al contrario per la gamma media, le trattrici N utilizzano la variabile circa il 12 % in più di quelle E.

Analisi aggiuntiva.

In Fig. 18 sono state rappresentate le medie percentuali delle variabili oggetto di studio durante l'aratura.

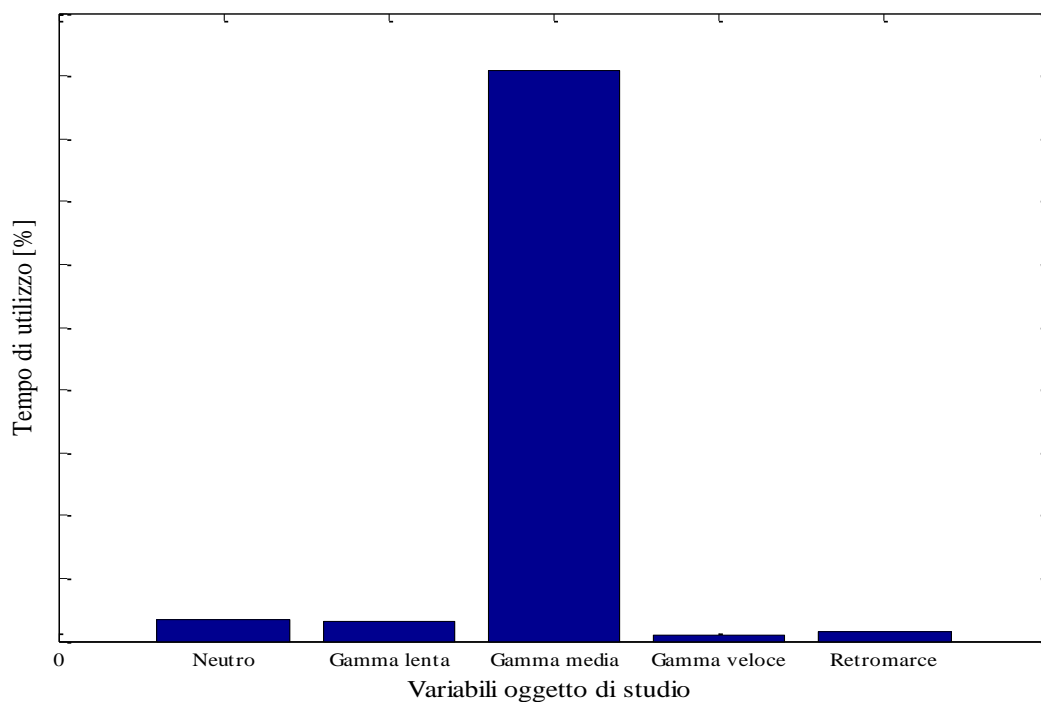


Fig. 18: Percentuale media di utilizzo della somma dei trattori che svolgono il lavoro di aratura.

Il neutro è utilizzato per meno del 5% mentre è stato riscontrato che la gamma media, conta più dell'80 % delle altre variabili. La percentuale della gamma veloce è inferiore al 5% in linea alle caratteristiche di guida note in agricoltura; per l'aratura infatti la velocità di guida non è superiore ai 10 km\h (Jenkins, 1960).

La gamma media si distribuisce come una Weibull in linea alla relativa gamma per l'intera vita lavorativa della trattrice, tuttavia i parametri sono diversi (Tab. 13). I percentili della gamma media esaminata, indicano che una trattrice può compiere la lavorazione in aratura per quasi il 100 % della lavorazione.

Tab. 13: Parametri della distribuzione della gamma media di trattrici che svolgono aratura.

	GAMMA MEDIA
Distribuzione	Weibull
Parametri	$\theta_1 = 94.20$ $\theta_2 = 16.40$
Percentili	$5^\circ = 78.70$ $95^\circ = 98.80$

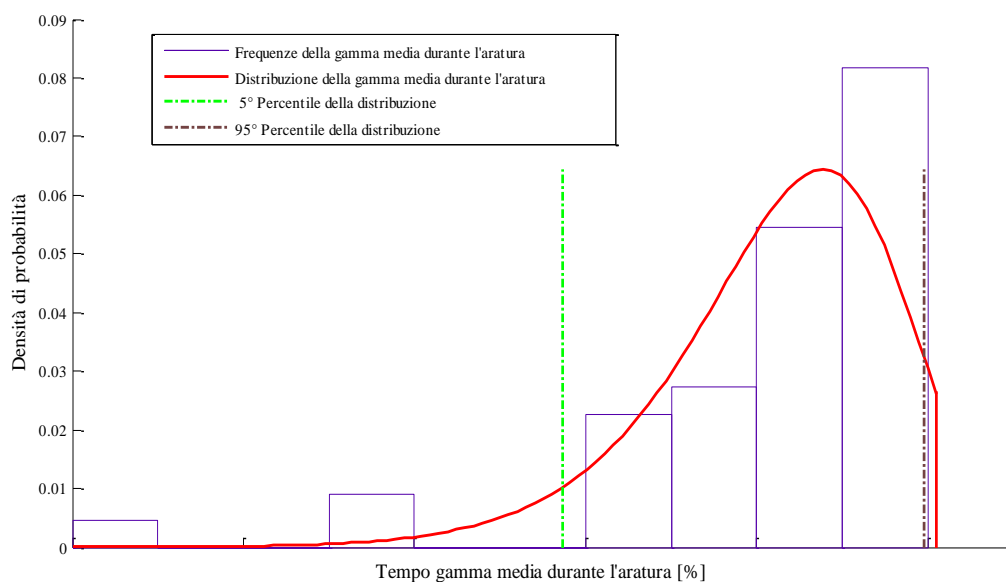


Fig.19: Distribuzione di probabilità della gamma media delle trattrici che svolgono il lavoro di aratura.

5. CONCLUSIONI

La trattrice è il principale strumento di lavoro degli agricoltori pertanto, questi ultimi richiedono un macchinario che risponda alle proprie esigenze. Le continue esigenze di mercato, oggi altamente concorrenziale, comportano la necessità da parte degli agricoltori di avere macchine sempre più evolute e altamente specializzate al fine di limitare i costi e massimizzare le rese lavorative. L'attenzione dei clienti non è quindi rivolta solamente alla richiesta di macchine con alte prestazioni, ma viene ricercata anche una elevata affidabilità. Questo ha spinto i progettisti alla realizzazione di nuove macchine sempre più ricche di contenuti tecnologici e in tempi di sviluppo sempre più ridotti. I progettisti devono tenere conto di tutte quelle prestazioni che possano soddisfare le esigenze di tutti i possibili clienti di ogni parte del mondo; per fare ciò sono stati indotti a progettare macchine che tengano conto sia dei diversi mercati ma anche delle diverse tradizioni agricole. L'elevata variabilità di utilizzi spinge i progettisti e gli ingegneri alla messa a punto di nuovi metodi di progettazione mirati all'affidabilità del veicolo, limitando il sovradimensionamento e quindi i costi di produzione delle trattrici.

Negli anni si sono sviluppate numerose metodologie per l'identificazione del profilo di utilizzo delle macchine, che hanno permesso di ridefinire test per la validazione delle trattrici prima della loro produzione. Si è poi spostata l'attenzione sui profili di specifici componenti, come ad esempio la trasmissione che comporta elevati costi per le riparazioni in caso di rottura. Poter identificare parametri che influiscono sul reale utilizzo della trattrice, può essere un elemento indispensabile per i progettisti che vogliono costruire macchine sempre più competitive.

Questa tesi è incentrata sullo studio di quei fattori che influenzano gli utilizzi della trasmissione di una famiglia di trattrici; mediante un'analisi preliminare, sono stati identificati due fattori che interagiscono in media, di seguito mediante una seconda analisi sono state stimate le distribuzioni e i parametri delle variabili legate alle trasmissioni.

Dalla prima analisi preliminare è stato riscontrato che la vita lavorativa di una trattrice è caratterizzata dall'utilizzo del neutro e della gamma media per oltre il 75%. La variabilità di utilizzo del neutro non è influenzata da fattori di variabilità come l'area geografica e la potenza massima del motore, a differenza della gamma media la cui variabilità di utilizzo è influenzata significativamente dall'interazione dei due fattori.

La seconda analisi invece, per mezzo di un campione di trattrici estratte con un criterio statistico, ha dimostrato come sia possibile stimare la distribuzione di probabilità delle variabili oggetto di studio.

Non ci sono differenze significative tra i valori del 5° percentile delle distribuzioni della percentuale di utilizzo del neutro sia per l'intero gruppo di trattrici monitorate che per i gruppi formati in funzione dei fattori area geografica e intervalli di potenza massima motore. Tale valore è in linea con gli studi dedicati ai tempi di inattività delle trattrici; dal tempo cumulato in neutro, è difatti possibile stimare quei tempi necessari per ricaricare i macchinari da semina o tempi più lunghi come ad esempio il tempo necessario per il mantenimento del motore in condizioni termiche ottimali nei paesi molto freddi (Surcel & Jokai, 2011; Lutsey, Brodrick, & Lipman, 2007). E' stato riscontrato infatti che il tempo speso in neutro con una percentuale di coppia minore del 12% della coppia massima erogabile dal motore, comunemente chiamati tempi di idling, in media corrisponde al 21 % della vita lavorativa della trattrice (Perozzi, Mattetti, Molari, Sereni, submitted).

I percentili del neutro di questa tesi confermano quanto affermato negli studi degli anni 60' (Jenkins, 1960); le trattrici campionate contano tempi di neutro per un valore minimo compreso tra il 10 e 13%. Al fine di ottenere un profilo di utilizzo che sia più danneggiante del 95% della popolazione, è necessario scalare tale valore della vita nominale di progetto di ciascuna trattrice.

La gamma media, che risulta essere la gamma più utilizzata, è influenzata dai fattori area geografica e potenza massima motore, in particolare per le trattrici di potenza pari ad uno specifico valore A kW.

La metodologia descritta in questa tesi oltre a identificare parametri per la progettazione ha permesso di identificare parametri di una specifica lavorazione come quella dell'aratura. È stato riscontrato che la distribuzione della gamma media della lavorazione è una Weibull come per l'intera vita lavorativa, tuttavia con la curva spostata più a destra e con valori medi e percentili più alti. Conoscere parametri di sollecitazione della gamma media durante specifiche missioni lavorative permette di interpretare i dati monitorati durante la vita lavorativa di una trattrice caratterizzati da molteplici lavorazioni. Estendere tale procedura ad altre missioni lavorative, come ad esempio il trasporto o la semina permetterebbe di identificare parametri sulle gamme utili per il calcolo del danneggiamento. Infine monitorare più missioni e quindi stimare a priori la distribuzione di ciascuna variabile oggetto di studio per ogni macro categoria di lavorazione, permetterebbe a posteriori di identificare la distribuzione di ciascuna di essa per l'intero ciclo di vita della trattrice. Un possibile sviluppo futuro della metodologia proposta, è quello di valutare quanto la combinazione lineare di più variabili oggetto di studio con distribuzioni e parametri distinte per missione, interpreti la distribuzione ed i parametri dell'intero ciclo di vita stimati in questo studio.

ELENCO DELLE TABELLE

Tab. 1: Tabella riassuntiva operazioni ANOVA a 2 fattori.

Tab. 2: Percentuale media di vendita delle trattrici nel N ed E.

Tab. 3: Descrizione colonne Y della matrice multidimensionale ($X \times Y$).

Tab. 4: Numero repliche che compongono il campione delle trattrici monitorate per analisi preliminare.

Tab. 5: Risultati ANOVA a due fattori per la variabile percentuale utilizzo del neutro.

Tab. 6: Risultati ANOVA a due fattori per la variabile percentuale utilizzo della gamma media.

Tab. 7: Numero di trattrici in percentuale che compongono ciascuno strato.

Tab. 8: Classificazione del campione in gruppi in funzione dei fattori.

Tab. 9: Statistiche campionarie sulle variabili oggetto di studio.

Tab. 10: Distribuzione di probabilità ipotizzata e stima dei relativi parametri.

Tab. 11: Distribuzioni di probabilità stimata di ciascun gruppo.

Tab. 12: Tabella percentili della distribuzione dei gruppi ripartiti in funzione dei fattori di variabilità.

Tab. 13: Parametri della distribuzione della gamma media di trattrici che svolgono aratura.

ELENCO DELLE FIGURE

Fig. 1: Rappresentazione concettuale del campionamento statistico.

Fig. 2: Rappresentazione concettuale del campionamento casuale semplice.

Fig. 3: Rappresentazione concettuale del campionamento stratificato.

Fig. 4: Rielaborazione disegno della leva del cambio.

Fig. 5: Disegno stilizzato della linea CAN-Bus e dei dispositivi.

Fig. 6: Porzione del segnale della marcia innestata durante il monitoraggio di una trattrice.

Fig. 7: Percentuale media di utilizzo delle variabili oggetto di studio dei trattori campionati nell'analisi preliminare.

Fig. 8: Grafico interazioni tra fattori per la variabile gamma media.

Fig. 9: Rappresentazione della stratificazione della popolazione di trattrici analizzata.

Fig. 10: Distribuzione di probabilità della percentuale utilizzo del neutro delle trattrici campionate.

Fig. 11: Distribuzione di probabilità della percentuale di utilizzo della gamma lenta delle trattrici campionate.

Fig. 12: Distribuzione di probabilità della percentuale di utilizzo della gamma Media delle trattrici campionate.

Fig. 13: Distribuzione di probabilità della percentuale di utilizzo della gamma Veloce delle trattrici campionate.

Fig. 14: Distribuzione di probabilità della percentuale di utilizzo delle retromarce delle trattrici campionate.

Fig. 15(a): Istogrammi della percentuale media di utilizzo dei raggruppamenti delle trattrici N con potenza massima motore $< A$ kW.

Fig. 15(b): Istogrammi della percentuale media di utilizzo dei raggruppamenti delle trattrici N con potenza massima motore A kW.

Fig. 15(c): Istogrammi della percentuale media di utilizzo dei raggruppamenti delle trattrici N con potenza massima motore $> A$ kW.

Fig. 16(a): Istogrammi delle percentuali medie di utilizzo dei raggruppamenti delle trattrici E con potenza massima motore $> A$ kW.

Fig. 16(b): Istogrammi delle percentuali medie di utilizzo dei raggruppamenti delle trattrici E con potenza massima motore A kW.

Fig. 16(c): Istogrammi delle percentuali medie di utilizzo dei raggruppamenti delle trattrici E con potenza massima motore $> A$ kW.

Fig. 17: Differenza percentuale tra gli utilizzi delle trattrici N e quelle E.

Fig. 18: Percentuale media di utilizzo dei trattori che svolgono il lavoro di aratura.

Fig. 19: Percentuale media di utilizzo della somma dei trattori che svolgono il lavoro di aratura.

Fig. 20: Distribuzione di probabilità della gamma media delle trattrici che svolgono il lavoro di aratura.

BIBLIOGRAFIA

Al-Janobi, A. A., Wahby, M. F., & Al-Belakhy, M. A. (1998). A Laptop Computer Based Data Acquisition System to Monitor Tractor Performace. *ASAE Annual International Meeting, Florida*.

Al-Suhaibani, S. A., & Al-Janobi, A. (1996). An instrumentation system for measuring field performance of agricultural tractors. *Misr Journal of Agricultural Engineering: 13 (3); 516-528*

Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer Science & Business Media.

Culpepper WJ. (1979) Description of a Data Logger/Analysis Field Test System. SAE Technical Paper; 790522.

Čupera J., Sedlák P. (2011). The use of CAN-Bus messages of an agricultural tractor for monitoring its operation. *Journal of Agricultural Engineering Research.*, 57 (2011): 117-127

DeCoursey, W. (2003). *Statistics and Probability for Engineering Applications*. Elsevier.

- Della Pietra, L.(2016). Lezioni di meccanica applicata alle macchine. 2.
La trasmissione della potenza meccanica - Mondadori Store
- DreBier K., Grunder B., Hack M. and Kottgen V.B. (1995)
Extrapolation of Rainflow Matrices. TECMATH GmbH, Sauerwiesen 2,
D-67661 Kaiserslautern, Germany. Presented at SAE'96, Detroit, USA.
- Dressler, K., Hack, M., & Krüger, W. (1997). Stochastic Reconstruction
of Loading Histories from a Rainflow Matrix. *Journal of Applied
Mathematics and Mechanics*, 77(3), 217–226.
- Ensor, D., & Cook, C. (2007). Derivation of Durability Targets and
Procedures Based on Real World Usage. *SAE Technical Paper*, 2007-
26-074, 1–9.
- Eurostat. (2010). Agricultural statistics Main results - 2008–09. Eurostat
- Pockebooks.
- Ganesh, N., & Ravi, M. (2011). Data Logger and Remote Monitoring
System for Multiple Parameter Measurement Applications. *Journal of
Electrical and Electronics Engineering*, 4(1), 139–142.
- Garcia, C., Araan, J., & Ruiz, S. (2010). Design of reliable accelerated
test programs based on real market use. *SAE Technical Paper*, 2010-36-
0029, 1–14.

- Gosavi, S. , Chavan, G. (2009). Development of Customer Correlated and Accelerated Driveline Durability Test Cycle. SAE Technical Paper 2009-01-0412,
- Harral, B. B. (1990). On-farm service loading on a rotary cultivator. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 46, 113–123.
- Hayes BE.(2008) Measuring customer satisfaction and loyalty: survey design,use, and statistical analysis methods. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press;.
- ISO. (2003). *Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 1: Data link layer and physical signalling* (No. 11898-1: 2003).
- Jenkins, A. J. (1960). Power and Life Investigation of the Farm Tractor Drive Components . *SAE Technical Paper*, 600322, 1–17
- Johannesson, P., & Speckert, M. (2013). *Guide to Load Analysis for Durability in Vehicle Engineering*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Karlsson, M. (2008). Evaluation of road load classification for fatigue assessments. *International Journal of Vehicle Design*, 47(1-4), 250–268.
- Keeping, E. S. (1962). *Introduction to Statistical Inference*. Courier Corporation.

Krumm. (2012). How People Use Their Vehicles: Statistics from the 2009 National Household Travel Survey.

Lechner, G., Naunheimer H. (1999). *Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application*. Springer Science & Business Media.

Ledesma, R., Jenaway, L., Wang, Y., & Shih, S. (2005). Development of Accelerated Durability Tests for Commercial Vehicle Suspension Components. *SAE Technical Paper*, 2005-01-3565, 1–13.

Ludes, R., & Steeples, B. (1999). Road Load and Customer Data from the Vehicle Data Bus - A New Approach for Quality Improvement. *SAE Technical Paper*, 1999-01-0948, 1–8.

Lutsey, N., Brodrick, C.-J., & Lipman, T. (2007). Analysis of potential fuel consumption and emissions reductions from fuel cell auxiliary power units (APUs) in long-haul trucks. *Energy*, 32(12), 2428–2438.

Marchesani, C., Parmigiani, F., & Vianello, M. (1992). Integrated method to define the mission profile of a passenger car. In Proc. Innovation and reliability in automotive design and testing, 8-10 April, 159-178. Florence, Italy.

- Mattetti, M., Molari, G., & Sedoni, E. (2012). Methodology for the realisation of accelerated structural tests on tractors. *Biosystems Engineering*, 113(3), 266–271.
- McColl, J. (2004). *Multivariate Probability* (1 edition). London: Wiley.
- Montgomery, D. C. (2008). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons.
- Mueller, C., Daily, J., & Papa, M. (2012). Assessing the Accuracy of Vehicle Event Data Based on CAN Messages .*SAE Technical Paper No. 2012-01-1000*). Warrendale, PA: SAE International.
- Oelmann, B. (2002). Determination of load spectra for durability approval of car drive lines. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 25(12), 1121e1125.
- Olofsson, M. (2000). Evaluation of estimates of extreme fatigue load e Enhanced by data from questionnaires. Licentiate of Engineering Thesis. Chalmers e Gotebo`rg University.
- Pan, Y., Yang, F., & Li, C. (2013). Vehicle Usage Measurement and Analysis Based on the Random Retail Customer. In *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress*. Springer Berlin Heidelberg.

- Paraforos, D. S., Griepentrog, H. W., Vougioukas, S. G., & Kortenbruck, D. (2014). Fatigue life assessment of a four-rotor swather based on rainflow cycle counting. *Biosystems Engineering*, 127, 1–10.
- Perozzi, Mattetti, Molari, Sereni (Submitted). Methodology to analyse farm tractor idling usage. *Biosystems Engineering*.
- Ray Clay, Paul Hemingway (2001). Engineering tractors for higher speeds *ASAE distinguished lecture series. Tractor design ; no. 25.*, ASAE.
- Reboul C. (1964). Temps de travaux et jours disponibles en agriculture. *In: Économie rurale. N°61., pp. 55-80.*
- Rees, D. G. (2000). *Essential Statistics, Fourth Edition*. Boca Raton (FL): CRC Press.
- Renius, K. Th. (1994). Trends in Tractor Design with Particular Reference to Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57 (1): 3–22.
- Ross, S. M. (2014). *Introduzione alla statistica*. Maggioli Editore.
- Strutt, J. E., & Hall, P. L. (2003). *Global vehicle reliability: prediction and optimization techniques*. Suffok (UK): Professional Engineering Pub.

Surcel, M.-D., & Jokai, R. (2011). Impact of Idling on Engine Temperatures in Winter Conditions. *SAE Technical Paper*, 2011-01-2190, 1–11.

Thomas, J. J., Perroud, G., Bignonnet, A., & Monnet, D. (1999). Fatigue design and reliability in the automotive industry. *European Structural Integrity Society*, 23, 1–11.

Vogwell, J. (1998). Analysis of a vehicle wheel shaft failure. *Engineering Failure Analysis* 5 (4): 271–77.

RINGRAZIAMENTI

Con questo elaborato si conclude il mio percorso di studio del Dottorato di Ricerca.

Un ringraziamento a CNH, in particolare Eugenio Sereni e l' Ing. Luca Carrozzi per la loro disponibilità e collaborazione per la realizzazione della tesi.

Un ringraziamento anche al Professor Giovanni Molari e all'Ing. Michele Mattetti.